

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CON EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA

TÍTULO:

**SISTEMA DE MONITOREO DE LA CONDICIÓN EN TIEMPO REAL Y
AUTOMATIZACIÓN DE REGISTROS DE TEMPERATURA EN LOS EQUIPOS
DE REFRIGERACIÓN DE HEMOCOMPONENTES DEL BANCO DE
SANGRE EN EL HOSPITAL SAN CARLOS**

REALIZADO POR:

EGLÉ ARTOLA ZAMORA

II SEMESTRE, 2024



Carrera evaluada y acreditada por: Agencia de Acreditación de programas de Ingeniería y
de Arquitectura

Miembros del tribunal examinador

Profesor guía:

Ing. Carlos Piedra Santamaría

Tribunal examinador:

Ing. Sebastián Mata Ortega

Ing. Luis Gómez Gutiérrez

Asesor guía:

Ing. Roy Delgado Ramírez

Hoja de datos

Datos personales

Nombre completo: Egle Artola Zamora

Número de cédula: 1 1681 0292

Número de carné: 2019390538

Números de teléfono: 71255596

Correo electrónico: evaz@estudiantec.cr, egleartola@gmail.com

Dirección exacta de domicilio: 150 m Oeste de Panadería Trejos en Quebradilla, Cartago.

Datos de la Empresa

Nombre: Banco de Sangre del Laboratorio Clínico, Hospital San Carlos

Actividad Principal: Asegurar la disponibilidad, seguridad y calidad de la sangre y sus componentes para uso médico.

Dirección: 2 km Norte de la catedral de Ciudad Quesada, San Carlos, Alajuela.

Contacto: Ing. Roy Delgado Ramírez

Teléfono: 70126983



Sistema de monitoreo de la condición en tiempo real y automatización de registros de temperatura en los equipos de refrigeración de hemocomponentes del Banco de Sangre en el Hospital San Carlos © 2024 by Egle Artola Zamora está licenciado bajo [Creative Commons - Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Agradecimientos

A Karla, cuyo apoyo inmesurable ha sido fundamental para alcanzar este hito. No solo ha sido un modelo de dedicación y perseverancia, sino que su fortaleza y compromiso inquebrantable me han inspirado a seguir adelante. Por ser mi ejemplo a seguir.

A Alessa, por ser mi mano derecha y mi refugio. Gracias por estar siempre a mi lado, por nunca dejarme caer, incluso cuando las circunstancias se tornaron desafiantes. Por siempre encontrar soluciones donde yo solo vi incógnitas.

A Jeroen y Gabriel, a quienes aprecio profundamente y por quienes siento un orgullo infinito. Su apoyo constante y su actitud optimista han sido una fuente de inspiración para continuar mi camino con confianza.

A los ingenieros Carlos Piedra y Sebastián Mata, por su disposición a compartir su extenso conocimiento y por su apoyo constante. Su orientación técnica y su experiencia han sido determinantes en la realización de este trabajo. Además, su compromiso con la excelencia establece un estándar que me motiva en mi desarrollo profesional.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Dedicatoria

A Huesos, Hera y Laika, mis eternos acompañantes en mis largas jornadas de traspasnoche.
Gracias por amarme de forma incondicional y por ser mi mayor fuente de alegría.

No está mal sumergirme otra vez ni temer que el río sangre y calme. Sé bucear en silencio.

Tarda en llegar y al final, al final hay recompensa.

★ Gustavo Cerati ★

Carta de aceptación de la empresa



CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL
HOSPITAL SAN CARLOS
DIRECCIÓN GENERAL
Teléfono: 2401-1325/ 2401-1366
Correo electrónico: coltccss@ccss.sa.cr

HSC-DG-0654-2024
29 de abril de 2024

Señores:
Escuela de Ingeniería Electromecánica
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Estimados señores:

ASUNTO: ACEPTACIÓN TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN EGLE ARTOLA ZAMORA

Reciban un cordial saludo. El suscrito Dr. Edgar Carrillo Rojas, en calidad de Director General del Hospital San Carlos, en atención a oficio de fecha 20 de marzo 2024, suscrito por el Ing. Sebastián Mata Ortega, Coordinador de Trabajo Final de Graduación de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, al respecto acepta que la estudiante **Egle Virginia Artola Zamora, carné 2019390538**, estudiante de licenciatura de esta carrera, realice trabajo final de graduación en nuestro centro médico, el cual consistente en la ejecución de un "Sistema de monitoreo de la condición en tiempo real en el Laboratorio Clínico del Hospital San Carlos", enfocado en el área de Gestión del Mantenimiento Industrial, a realizarse entre el periodo comprendido del 22 de julio al 08 de noviembre 2024.

Sin más por el momento, se despide:

Atentamente,

HOSPITAL SAN CARLOS



Dr. Edgar José Carrillo Rojas
DIRECTOR GENERAL



rs.ECR/Taryn

Copia (s).

Lic. Engelber Molina Alfaro, Jefe Unidad de Gestión de Recursos Humanos, HSC

Ing. Roy Delgado Ramirez, Jefe Servicio Ingeniería y Mantenimiento, HSC.

Archivo

Carta de revisión filológica

CARTA DE FILÓLOGA

Heredia, 22 de noviembre del 2024

Señores (as)
Escuela de Ingeniería Electromecánica
Tecnológico de Costa Rica

Estimado Señor (as)

Por este medio, la suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro, cédula de identidad N° 401780133, miembro activo del Colypro bajo el número 35554, doy fe de haber corregido exhaustivamente el documento titulado: **"SISTEMA DE MONITOREO DE LA CONDICIÓN EN TIEMPO REAL Y AUTOMATIZACIÓN DE REGISTROS DE TEMPERATURA EN LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DE HEMOCOMPONENTES DEL BANCO DE SANGRE EN EL HOSPITAL DE SAN CARLOS"**, que estuvo a cargo del estudiante: **Egle Artola Zamora**, con respecto a los siguientes aspectos:

1. Lexicografía, morfología, fondo y forma en su totalidad.
2. Uso correcto de las preposiciones.
3. Usos lingüísticos de los signos de puntuación, interrogación y exclamación.
4. Los solecismos, barbarismos, cacofonías, anfibologías, monotonía del lenguaje, redundancia, pleonasmos y la ortografía.

Por tanto, doy fe que este proyecto contiene un fondo claro y preciso de la propuesta expresada en el mismo, con ideas correctas, que mantienen el hilo conductor a lo largo del documento.

Atentamente,

Firmado por EDITH RAISSA PIZARRO ALFARO (FIRMA)
PERSONA FÍSICA, CPF-04-0178-0133. Fecha declarada: 22/11/2024 06:17 PM
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

Lda. Edith Raissa Pizarro Alfaro
Código 35554

Resumen

Este trabajo final presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real y automatización de registros de temperatura para los equipos de refrigeración de hemocomponentes del Banco de Sangre del Hospital San Carlos en Costa Rica. La iniciativa surge como respuesta a los problemas que presentan los registros manuales, los cuales son susceptibles a errores y pueden poner en riesgo la seguridad y calidad de los productos sanguíneos.

El objetivo principal del proyecto es implementar una solución basada en Internet de las Cosas (IoT) que garantice un control continuo y preciso de las condiciones de almacenamiento de los hemocomponentes. Para ello, se llevó a cabo un análisis de modos de fallas y efectos (AMFE) que permitió identificar los parámetros críticos a monitorear. Además, se diseñó un prototipo funcional y se desarrolló un sistema automatizado de adquisición de datos, mejorando significativamente el proceso de registro.

Este enfoque no solo optimiza la gestión de los hemocomponentes, sino que también contribuye a la seguridad en las transfusiones, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se anticipa que el sistema incrementará la precisión del monitoreo y reducirá los riesgos asociados con un almacenamiento inadecuado, proporcionando información confiable para la toma de decisiones clínicas.

La justificación del proyecto se basa en la creciente demanda de sangre y en la imperiosa necesidad de asegurar su adecuada conservación. Al implementar esta infraestructura, se promueven prácticas sostenibles en la gestión de productos sanguíneos, lo que resulta esencial para la eficacia de los servicios de transfusión y la protección de la salud de los pacientes. En conclusión, el sistema propuesto representa un avance significativo en la mejora de la calidad y seguridad del manejo de hemocomponentes en el contexto hospitalario.

Palabras clave: Hemocomponentes, IoT, AMFE, monitoreo, diagnóstico.

Abstract

This final project describes the development of a real-time monitoring system and automation of temperature records for the refrigeration equipment of blood components at the San Carlos Hospital Blood Bank in Costa Rica. The initiative addresses the challenges associated with manual records, which are prone to errors and can compromise the safety and quality of blood products.

The main objective is to implement an Internet of Things (IoT)-based solution to ensure continuous and accurate control of storage conditions. The project includes conducting a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to identify critical parameters, designing a functional prototype, and creating an automated data acquisition system.

This approach not only optimizes the management of blood components but also enhances transfusion safety, aligning with the Sustainable Development Goals. The expected outcomes of the system include improved monitoring accuracy and a reduction in risks associated with inadequate storage, ultimately providing reliable data for clinical decision-making.

The project's justification is rooted in the increasing demand for blood and the necessity to ensure its proper preservation. The implementation of this infrastructure promotes sustainable practices in blood product management, which is essential for the efficacy of transfusion services and the protection of patient health.

By addressing the limitations of current manual monitoring systems, this project aims to establish a more efficient and reliable method for managing blood component storage. The integration of IoT technology facilitates real-time data access and enhances the ability to respond promptly to any temperature deviations, thereby safeguarding the integrity of blood products.

Keywords: Blood components, IoT, FMEA, monitoring, diagnosis.

Índice general

Introducción	1
Reseña de la empresa	2
Antecedentes	3
Planteamiento del problema	6
Objetivos	8
Justificación	9
Alcance	10
Viabilidad	11
Administración del riesgo	12
Metodología por seguir	13
Cronograma	15
Marco teórico	16
Situación actual	21
Desarrollo de objetivos	27
I. Objetivo específico 1	27
I.I. Análisis de modos de fallos y efectos (AMFE)	27
II. Objetivo específico 2	34
II.I. Variables a monitorear	34
II.II. Desarrollo de prototipo	35
II.III. Selección de componentes principales para el desarrollo del prototipo	38
II.IV. Diseño preliminar del prototipo	45
III. Objetivo específico 3	47

III.I.	Selección de equipo para pruebas de validación	48
III.II.	Selección de plataforma de IoT para análisis de datos	50
III.III.	Diseño de código de programación	52
III.IV.	Validación de sistema de monitoreo	56
III.V.	Interfaz de monitoreo remoto	64
III.VI.	Automatización de registros de temperatura	67
III.VII.	Implementación de alertas	68
IV.	Objetivo específico 4	72
IV.I.	Análisis de viabilidad financiera del prototipo	72
Conclusiones		79
Recomendaciones		80
Bibliografía		80
Apéndices		86
Anexos		91

Índice de figuras

I.	Proceso productivo del Laboratorio Clínico.	2
II.	Plan de trabajo para desarrollo de proyecto	15
III.	Equipos de refrigeración de hemocomponentes	16
IV.	Metodología AMFE	17
V.	Proceso de donación y control de hemocomponentes	22
VI.	Fases de la metodología AMFE	28
VII.	AMFE de incubadora de plaquetas marca Helmer	31
VIII.	AMFE de refrigerador de glóbulos rojos marca Helmer	32
IX.	AMFE de congelador de plasma y crioprecipitados marca Helmer	33
X.	NodeMCU ESP32	39
XI.	Sensor de corriente modelo SCT 013	42
XII.	Termocupla Tipo K de sonda	44
XIII.	Diseño preliminar de prototipo	46
XIV.	Equipos de refrigeración de hemocomponentes	48
XV.	Incubadora de plaquetas Helmer	50
XVI.	Configuración de librerías y conexión WiFi	53
XVII.	Configuración inicial del código de programación	54
XVIII.	Determinación de parámetros óptimos de temperatura	55
XIX.	Envío de datos a ThingSpeak	56
XX.	Diagrama eléctrico de incubadora de plaquetas Helmer	57
XXI.	Colocación de sensores en incubadora de plaquetas Helmer	58
XXII.	Medición de la corriente del ventilador utilizando un multímetro de gancho	59
XXIII.	Prueba de funcionamiento de termocupla tipo K	60

XXIV.	Visualización de lecturas de sensores y estado de datos en ThingSpeak . . .	60
XXV.	Gráfica de distribución porcentual en mediciones de temperatura	63
XXVI.	Gráfica de distribución de frecuencia en las mediciones de temperatura . .	63
XXVII.	Visualización interfaz de monitoreo desde computadora	64
XXVIII.	Visualización interfaz de monitoreo remoto desde tableta	66
XXIX.	Visualización interfaz de monitoreo remoto desde celular	66
XXX.	Localización de descarga de registros de temperatura	67
XXXI.	Registros automatizados de mediciones de temperatura	68
XXXII.	Programación de alerta para funcionamiento compresor	69
XXXIII.	Envío de alertas vía correo electrónico	69
XXXIV.	Cuerpo de alerta de funcionamiento de compresor	70
XXXV.	Alerta correspondientes al diagnóstico de la incubadora de plaquetas	71
XXXVI.	Gráfico comparativo de montos entre sistemas de monitoreo	76
XXXVII.	Gráfico de visualización de montos asociados al proyecto	78
XXXVIII.	Frecuencia de mediciones de la corriente del ventilador	86
XXXIX.	Frecuencia de mediciones de la corriente del evaporador	86
XL.	Frecuencia de mediciones de la corriente del compresor	87
XLI.	Gráfica de distribución porcentual en mediciones de corriente del evaporador	87
XLII.	Gráfica de distribución porcentual en mediciones de corriente del ventilador	88
XLIII.	Gráfica de distribución porcentual en mediciones de corriente del compresor	88
XLIV.	Alerta de funcionamiento sonda de control de temperatura	89
XLV.	Pruebas de funcionamiento de código de programación	89
XLVI.	Cuerpo de alerta de funcionamiento de sonda de temperatura	90
XLVII.	Datos de placa de incubadora de plaquetas Helmer	90
XLVIII.	Unidad de plaquetas	91

XLIX.	Unidad de glóbulos rojos	91
L.	Unidad de plasma congelado	92
LI.	Unidades de hemocomponentes disponibles al 22 Agosto	92
LII.	Registros de temperatura para refrigerador de sangre	93
LIII.	Registros de temperatura para congelador de plasma	94
LIV.	Registros de temperatura para incubadora de plaquetas	95
LV.	Reporte mantenimiento en incubadora de plaquetas	96
LVI.	Reporte mantenimiento en congelador de plasma	96
LVII.	Reporte mantenimiento en refrigerador de glóbulos rojos	97
LVIII.	Diagrama eléctrico de congelador de plasma	98
LIX.	Diagrama eléctrico de refrigerador de glóbulos rojos	99
LX.	Diagrama eléctrico de incubadora de plasma	100
LXI.	Incubadora de plaquetas modelo KC marca Kaida Scientific	101
LXII.	Incubadora de plaquetas modelo PC900 Pro marca Helmer	101
LXIII.	Incubadora de plaquetas modelo BJPX-SP10 marca Biobase Biolin	102
LXIV.	Incubadora de plaquetas modelo 301300 marca Boekel Scientific	102

Índice de tablas

I.	Funciones primarias de los equipos de refrigeración de hemocomponentes	22
II.	Estadística de donaciones registradas en Hospital San Carlos en 2024	24
III.	Unidades disponibles por grupo sanguíneo al 22 de agosto del 2024 en Hospital San Carlos	24
IV.	Características técnicas de los equipos de refrigeración de hemocomponentes en Hospital San Carlos	25
V.	Porcentaje de frecuencia en registros de temperatura en los equipos de refrigeración de hemocomponentes 2023-2024	26
VI.	Criterios de evaluación de severidad, ocurrencia y detección de fallos según metodología AMFE	29
VII.	Variables a monitorear por equipo	35
VIII.	Comparativa de microcontroladores para procesamiento de datos	38
IX.	Comparativa de sensores de corriente	41
X.	Comparativa de sensores de temperatura	43
XI.	Ubicación de los componentes del prototipo	46
XII.	Comparativa de plataformas IoT	51
XIII.	Estadísticas de las mediciones obtenidas	61
XIV.	Presupuesto de componentes para desarrollo de prototipo	73
XV.	Comparativa de aspectos técnicos para licencias de ThingSpeak	74
XVI.	Costo de licencias para ThingSpeak	75
XVII.	Comparativa entre sistemas de monitoreo	76
XVIII.	Costos hemocomponentes por equipo	77

Introducción

El Laboratorio Clínico de un hospital es esencial para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades, ya que proporciona resultados precisos y confiables a través de pruebas especializadas. Sin embargo, la eficacia de estas pruebas no solo depende de la precisión de los análisis, sino también de la calidad y seguridad de los productos utilizados en el proceso. En particular, en el Banco de Sangre, el almacenamiento adecuado de los componentes sanguíneos es una preocupación crítica, ya que su integridad puede verse afectada por condiciones ambientales inadecuadas, especialmente en lo que respecta a la temperatura.

En el Hospital de San Carlos, como en muchos otros centros médicos, los componentes sanguíneos se almacenan en equipos de refrigeración con parámetros de temperatura controlados. Sin embargo, el registro manual de estos datos presenta desafíos considerables. Los errores humanos, las interrupciones en las tareas del personal y la carga de trabajo excesiva pueden resultar en registros imprecisos o incompletos, lo que pone en riesgo la calidad y seguridad de los productos almacenados.

Para abordar estos desafíos, se propone la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real y automatización de datos de temperatura en los equipos de refrigeración. Este enfoque tecnológico permitirá una supervisión continua y precisa de las condiciones de almacenamiento, asegurando que se cumplan los parámetros establecidos por las regulaciones sanitarias. Además, al proporcionar un registro sistemático y detallado de la temperatura, este sistema no solo garantizará el cumplimiento de los estándares de calidad, sino que también facilitará la identificación temprana de posibles problemas o tendencias preocupantes.

La adopción de esta tecnología no solo optimizará el almacenamiento de componentes sanguíneos, sino que también ayudará a la toma de decisiones clínicas al proporcionar datos precisos y actualizados en tiempo real. Esto permite al personal médico actuar de manera oportuna en situaciones de emergencia, reduciendo así los riesgos de pérdida de productos y asegurando su calidad y seguridad.

Reseña de la empresa

El Laboratorio Clínico del Hospital San Carlos en Costa Rica se destaca por su capacidad técnica y su compromiso con la calidad y la precisión en sus análisis. Equipado con tecnología de vanguardia, el laboratorio ofrece una amplia gama de pruebas diagnósticas que abarcan desde hematología y bioquímica, hasta microbiología y biología molecular.

El Banco de Sangre, como subárea fundamental del laboratorio, se encarga de la recolección, procesamiento, almacenamiento y distribución de componentes sanguíneos, asegurando su integridad frente a condiciones ambientales inadecuadas, especialmente la temperatura. Un equipo altamente calificado de técnicos y profesionales opera siguiendo estándares internacionales y regulaciones nacionales, para garantizar la exactitud y confiabilidad de los resultados.

El Laboratorio Clínico también participa activamente en programas de control de calidad externos e internos para garantizar la precisión y confiabilidad de los análisis realizados. Además, colabora estrechamente con otros servicios del hospital para proporcionar resultados rápidos y precisos que respalden un diagnóstico clínico adecuado y un tratamiento efectivo.

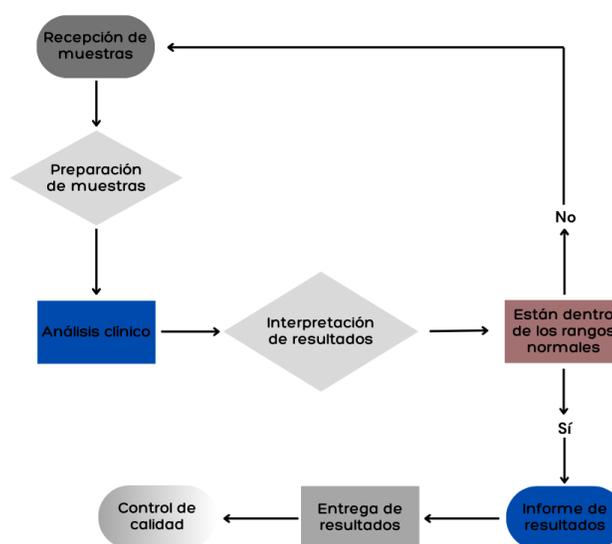


Figura I: Proceso productivo del Laboratorio Clínico.
Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes

- **Antecedentes experimentales:**

Se han observado numerosos proyectos provenientes de diversas regiones del mundo en relación con la monitorización a través de Internet de las Cosas (IoT). Estos sistemas poseen la capacidad de digitalizar, almacenar y transmitir datos relevantes de los procesos, permitiendo a los usuarios tomar decisiones efectivas para mejorar y optimizar los mismos. Es por esta razón que en el contexto de la industria 4.0, las técnicas IoT son ampliamente adoptadas. Conscientes de este panorama, se han emprendido investigaciones a nivel nacional e internacional para profundizar en el conocimiento de estos sistemas y enriquecer su comprensión. [35]

Ahora bien, ante la problemática en crecimiento de la falta de monitoreo y control de variables ambientales como la iluminación, humedad y temperatura en el almacenamiento de vacunas en México, en 2020 Ramírez junto con otros autores desarrollaron un sistema inteligente de monitoreo de temperatura y humedad para los equipos de refrigeración que almacenan y transportan las vacunas y a su vez, que permita registrar un historial gráfico de la cadena de frío y humedad, esto con el objetivo de controlar eficientemente los parámetros establecidos por la OMS y el ajuste de las regulaciones mexicanas para cada sustancia. La metodología utilizada constó de hacer uso de 5 sensores DS18B20 los cuales son ubicados de forma estratégica, programados con Arduino y enlazados con un servidor MySQL para guardar los datos obtenidos en un archivo de texto que registre la hora y la fecha. [43]

Por otra parte, en el año 2021 en Bogotá se diseñó e implementó un sistema de monitoreo remoto con IoT para los contenedores refrigerados de una empresa en particular con el fin disminuir tiempos en mantenimiento y comprobación de correcto funcionamiento mediante parámetros de temperatura y humedad. Esto se llevó a cabo mediante la utilización de sensores para la obtención de información, servicios SMTP y API rest, que fueron utilizados para el desarrollo de una interfaz amigable para el usuario, la cual permite el acceso para generar reportes y visualización de los parámetros en tiempo

real. [6]

■ **Antecedentes teóricos:**

Según "Good Practice Guideline for Blood Establishment", publicado por la Comisión de la Unión Europea, un sistema de calidad abarca la mejora continua no solo en aspectos como la calidad, personal, instalaciones y equipos, sino también, en la documentación, recolección, almacenamiento, distribución y retirada de componentes sanguíneos. [19]

Paralelo a esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su artículo "Blood Safety and Availability", actualizado en 2023, determina que la sangre y sus componentes deben ser almacenados y monitoreados adecuadamente para garantizar su seguridad y eficacia en las transfusiones. A nivel mundial, se recolectan alrededor de 118,5 millones de donaciones de sangre cada año, con una significativa variación entre países de diferentes niveles de ingresos. Mientras que en los países de ingresos altos se recoge el 40% de las donaciones, donde vive solo el 16% de la población mundial; en los países de ingresos bajos hasta el 54% de las transfusiones se administran a niños menores de 5 años. Es debido a esto que la OMS recomienda establecer sistemas nacionales de sangre bien coordinados, basados en políticas eficaces y marcos legislativos que promuevan la calidad y seguridad de la sangre y sus productos. Es fundamental realizar pruebas de detección de infecciones antes de las transfusiones, así como implementar prácticas clínicas seguras y protocolos de transfusión adecuados. [63]

La disponibilidad de sangre segura varía según el país, siendo esencial promover donaciones voluntarias no remuneradas para garantizar la seguridad y la suficiencia del suministro. A pesar de los esfuerzos realizados, aún existen desafíos en cuanto a la disponibilidad de sangre segura y al acceso oportuno a transfusiones en algunos países, especialmente en los de ingresos bajos. [63]

Además, el documento "Manual on the management, maintenance and use of blood cold chain equipment", publicado por la OMS, determina que es fundamental que la sangre total y los glóbulos rojos empacados se mantengan a una temperatura constante, comprendida entre +2 °C y +6 °C durante su almacenamiento, y entre +2 °C y +10

°C durante su transporte. Es importante destacar que los componentes sanguíneos y los productos derivados del plasma deben almacenarse exclusivamente en equipos que estén bajo monitoreo constante. Además, es crucial evitar la congelación de los glóbulos rojos, las plaquetas y la sangre total en todo momento. Por último, se recomienda que el plasma fresco congelado y el crioprecipitado se mantengan a una temperatura óptima de -30 °C, garantizando que estén completamente congelados en todo momento. [64]

Planteamiento del problema

En el Hospital San Carlos, las unidades de hemocomponentes se almacenan en equipos de refrigeración que deben mantener parámetros de temperatura estrictos. El control adecuado de estas condiciones es fundamental, no solo para garantizar la seguridad del personal, sino también para preservar la integridad de los componentes sanguíneos, lo que es esencial para cumplir con las regulaciones legales y ambientales establecidas. Además, es crucial registrar con precisión las condiciones de almacenamiento, ya que esto ayuda a mantener estándares de calidad y a crear una base de datos histórica que permite monitorear el rendimiento del equipo y anticipar posibles fallas, evitando así pérdidas de las unidades. [49]

Sin embargo, el registro manual de datos plantea desafíos significativos; la posibilidad de errores humanos y las interrupciones en las funciones del personal pueden llevar a un proceso ineficiente y poco confiable. Este problema se agrava por el agotamiento del personal, que ya enfrenta una carga de trabajo excesiva. La dependencia del registro manual no solo incrementa la probabilidad de errores, sino que también consume un tiempo valioso que podría destinarse a otras tareas críticas del Banco de Sangre. La carga adicional sobre el personal genera estrés y puede afectar su rendimiento general, repercutiendo en la calidad de la atención proporcionada. La falta de un sistema eficiente para el monitoreo y la documentación de las condiciones de almacenamiento de los hemocomponentes puede resultar en un ciclo vicioso de ineficiencia y potenciales crisis en el suministro.

Por lo tanto, implementar una solución automatizada no solo aliviaría la carga del personal, sino que también garantizaría un manejo más seguro y efectivo de los componentes sanguíneos, asegurando que el hospital cumpla con los estándares necesarios para brindar atención de calidad y preservar la vida de los pacientes.

	Descripción	Dato suministrado	Referencias bibliográficas
Debiera	Contar con un sistema de monitoreo de la condición en tiempo real y automatización de registros de temperatura en los equipos de refrigeración de hemocomponentes.	La sangre entera y los eritrocitos deben mantenerse entre 1°C a 6°C, mientras que las plaquetas se almacenan entre 20°C a 24°C y el plasma de -20°C a -30°C.	[4], [47]

Desviación	Riesgo inminente de daños en las unidades de hemocomponentes almacenados con las consecuencias que esto implica.
-------------------	--

	Descripción	Dato suministrado	Referencias bibliográficas
Realidad	No se cuenta con un sistema de control automatizado de registros de temperatura para el debido almacenamiento de los hemocomponentes con el inminente riesgo de las pérdidas de las unidades.	No existe sistema de control automatizado de temperatura para el debido almacenamiento de hemocomponentes.	[13]

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo de la condición en tiempo real para la automatización en la toma de registros de temperatura y el diagnóstico en los equipos de refrigeración de hemocomponentes mediante IoT en el Banco de Sangre del Hospital San Carlos.

Objetivos específicos

1. Realizar un análisis de modo de fallas y efectos para la identificación de parámetros críticos de funcionamiento en los equipos de refrigeración y almacenamiento de hemocomponentes según las directrices de la Asociación para el Avance de la Sangre y las Bioterapias (AABB) y el Ministerio de Salud de Costa Rica.

Indicador de logro: Informe del AMFE

2. Diseñar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real basado en Internet de las Cosas (IoT) mediante un analizador de datos para la optimización de la toma de datos de temperatura y diagnóstico en los equipos de refrigeración.

Indicador de logro: Desarrollo de prototipo

3. Desarrollar un sistema de adquisición de datos automatizado para la supervisión de las variables relacionadas con los modos de falla de los equipos de refrigeración mediante el uso de sensores y tecnologías de comunicación para la transmisión de datos.

Indicador de logro: Código de programación de software funcional, pruebas de validación del sistema.

4. Elaborar un estudio técnico-financiero para el análisis de la viabilidad de la implementación del sistema de monitoreo por medio de un análisis comparativo con los costos de los hemocomponentes.

Indicador de logro: Informe financiero.

Justificación

La necesidad del presente proyecto se fundamenta en un análisis técnico y exhaustivo que abarca dos dimensiones principales, estrechamente alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, y que se entrelazan con la alta demanda de sangre a nivel mundial.

En primer lugar, se aborda el Objetivo 3, que implica garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las personas en todas las edades. Se reconoce la crítica importancia del almacenamiento adecuado de la sangre en la cadena de suministro de productos sanguíneos, donde la preservación de la viabilidad y seguridad de los mismos es esencial. En este sentido, se propone implementar un sistema de monitoreo continuo de variables ambientales como la temperatura, humedad y otras, con el fin de prevenir la contaminación microbiológica y asegurar la eficacia de los productos sanguíneos. [54]

En segundo lugar, se considera el Objetivo 9, que busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. Aquí, se propone la implementación de sistemas inteligentes de monitoreo para la cadena de frío de productos sanguíneos, utilizando tecnologías innovadoras como sensores de alta precisión y sistemas de análisis de datos en tiempo real. Este enfoque no solo garantiza la trazabilidad y seguridad de los productos, sino que también promueve prácticas sostenibles mediante la optimización de la eficiencia energética y el uso de materiales de embalaje biodegradables. [55]

Aunado a esto, es crucial tener en cuenta que, según datos de la Organización Mundial de la Salud del año 2021, la tasa promedio de donación de sangre por cada 1.000 habitantes en países de América Latina y el Caribe es de 15 unidades. En este contexto radica la importancia del correcto monitoreo y almacenamiento de los componentes sanguíneos por ser sumamente escasos. Un control riguroso garantiza no solo la disponibilidad de sangre, sino también la seguridad de cada unidad almacenada, maximizando su utilidad y minimizando el riesgo de crisis de abastecimiento. [51]

Alcance

Los enfoques primordiales del proyecto consisten en abordar aspectos descriptivos y correlacionales. El primero, centrado en detallar minuciosamente la operatividad del sistema, identificando las variables o parámetros a ser monitoreados, delineando el procedimiento de recopilación de datos, así como el análisis y presentación de estos, y finalmente, estableciendo cómo serán empleados para la toma de decisiones o ejecución de acciones.

Por otro lado, el enfoque correlacional se manifiesta en la identificación de relaciones y correlaciones entre diversas variables asociadas con la calidad y seguridad de los componentes sanguíneos resguardados y empleados en el contexto hospitalario. Esto incluye, por ejemplo, la exploración de la correlación entre la temperatura de almacenamiento de la sangre y la viabilidad de los glóbulos rojos, o la posible relación entre la duración del almacenamiento y el incremento en la concentración de ciertos productos metabólicos en la sangre.

Viabilidad

Disponibilidad de recursos financieros: La viabilidad financiera del proyecto de implementación de un sistema de monitoreo de la condición en los equipos de almacenamiento de componentes sanguíneos se ve influenciada por la disminución del presupuesto nacional asignado al Ministerio de Salud entre 2022 y 2023, pasando de ₡345.510,9 a ₡314.457,0 colones respectivamente. A pesar de este desafío, el Director del Hospital San Carlos, tiene interés de destinar fondos para la implementación de sistemas de monitoreo, dada la alta demanda de sangre y la importancia crítica de su correcta manipulación. [40]

Disponibilidad de recursos humanos: La viabilidad del proyecto se ve fortalecida por la disposición y capacitación del personal clave, principalmente en el Laboratorio Clínico, donde los profesionales, mayormente especializados en microbiología, cuentan con las competencias necesarias para manipular adecuadamente los componentes sanguíneos, mostrando además una disposición activa para colaborar con el desarrollo del proyecto. Asimismo, el liderazgo y experiencia del Ing. Roy Delgado en el Servicio de Mantenimiento garantiza una guía precisa en la intervención de los equipos de refrigeración, aportando significativamente a la seguridad y eficacia del almacenamiento de los componentes sanguíneos.

Disponibilidad de recursos tecnológicos: Los elementos tecnológicos necesarios para la elaboración del proyecto, como computadoras y dispositivos de medición, pueden ser aquellos que el estudiante ya posea o pueda adquirir temporalmente para la investigación, siempre y cuando cumplan con los requisitos del proyecto. Además, se contemplará la posibilidad de acceder a equipos de medición más avanzados proporcionados por la empresa, los cuales podrían ofrecer funcionalidades adicionales y una mayor precisión en la recolección de datos como podrían ser calibradores, termómetros, manómetros, entre otros, lo que contribuiría significativamente al éxito del proyecto.

Administración del riesgo

Limitaciones del recurso humano: Aunque los profesionales del Laboratorio Clínico están dispuestos a colaborar en el desarrollo del proyecto, se ven limitados por una carga de trabajo excesiva y la necesidad de realizar jornadas extraordinarias. Esto se debe a la alta demanda de servicios de salud y la escasez de personal en algunas áreas, lo que reduce el tiempo disponible para ofrecer su ayuda de manera constante.

Plan de contingencia:

1. Recurrir a fuentes secundarias como artículos científicos, registros médicos anteriores o bases de datos hospitalarias puede proporcionar datos relevantes para avanzar en el proyecto.

Limitaciones de recursos tecnológicos: El ataque cibernético sufrido por la CCSS en 2022 ha resaltado la necesidad de reforzar las medidas de defensa y seguridad en la institución. Una de las estrategias implementadas para proteger la información confidencial de los pacientes ha sido la limitación del acceso a redes WiFi en muchas zonas de los hospitales y EBAIS. Si bien esta medida busca reducir la exposición de los datos a posibles amenazas externas, también implica una limitación en la capacidad de transmitir información de manera rápida y eficiente dentro de las instalaciones. [11]

Plan de contingencia:

1. Utilizar dispositivos tecnológicos personales como puntos de acceso WiFi para la transmisión segura de datos tomados a partir de los sensores a la computadora y comprobar la correcta comunicación entre estos.

2. Establecer conexión entre el analizador de datos y la computadora mediante cable Ethernet, siempre y cuando la infraestructura lo permita.

Metodología por seguir

Objetivo específico	Actividad por realizar	Fuentes de información	Análisis de datos con criterios estadísticos	Indicador de logro
1	Identificar los componentes críticos del equipo de refrigeración y almacenamiento de bolsas hemocomponentes, evaluar los posibles modos de fallas y sus efectos en la calidad y seguridad de los componentes.	Fichas técnicas y manuales de los equipos de refrigeración. Datos históricos del Servicio de Mantenimiento y Laboratorio Clínico. Fuentes bibliográficas.	Investigación en las bases de datos de la OMS, OPS, AABB y Ministerio de Salud para determinar las condiciones óptimas de almacenamiento de los hemocomponentes en hospitales.	Análisis de modo de fallas y efectos (AMFE)
2	Selección de componentes de hardware y software necesarios para el diseño del prototipo. Desarrollo de un hardware de monitoreo para la adquisición de datos de temperatura y diagnóstico en los equipos de refrigeración.	Fuentes bibliográficas	Comparación estadística entre datos brindados por los sensores colocados y equipos de medición comerciales para determinar el nivel de precisión de los datos utilizados para el desarrollo del proyecto.	Desarrollo de prototipo de monitoreo de la condición en tiempo real.

Objetivo específico	Actividad por realizar	Fuentes de información	Análisis de datos con criterios estadísticos	Indicador de logro
3	Diseño de un sistema de adquisición de datos que integre los sensores seleccionados y permita la recolección automatizada de datos.	Fuentes bibliográficas	Comparación entre los datos brindados a través de los sensores en función de los datos tomados con equipos de medición comerciales.	Pruebas y validación del sistema de adquisición de datos para garantizar su funcionamiento adecuado. Código de programación de software funcional.
4	Recopilación de información sobre los costos asociados con la implementación del sistema de monitoreo propuesto. Estimación de los beneficios esperados del sistema de monitoreo en términos de mejora en la calidad y seguridad de los componentes sanguíneos.	Fuentes bibliográficas Cálculos financieros Registros financieros del Servicio de Laboratorio Clínico	Viabilidad preliminar del desarrollo completo del sistema de monitoreo propuesto.	Informe detallado del costo total del sistema desarrollado y un análisis comparativo entre los costos asociados a los hemocomponentes.

Cronograma

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15
Objetivo específico No. 1															
Investigar condiciones óptimas de funcionamiento en equipos de refrigeración															
Identificación de equipo de mayor criticidad															
Realizar AMFE en equipo seleccionado															
Objetivo específico No. 2															
Investigación sobre tecnologías IoT															
Investigación y diseño de prototipo de monitoreo															
Pruebas de funcionamiento del prototipo de monitoreo															
Objetivo específico No. 3															
Investigación y desarrollo de sistema de adquisición de datos															
Pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos															
Informe de comparación entre los datos brindados a través de los sensores con equipos de medición comerciales															
Objetivo específico No. 4															
Elaboración de informe técnico-financiero															
Elaboración de informe final															
Entrega de informe final															

Figura II: Plan de trabajo para desarrollo de proyecto
Fuente: Elaboración propia.

Marco teórico

Equipos de refrigeración en entornos médicos

Los equipos de refrigeración en el ámbito médico son esenciales para el almacenamiento y manejo seguro de productos biológicos, medicamentos y componentes sanguíneos. Su correcto funcionamiento garantiza la integridad y eficacia de estos productos, lo que es crucial para la atención de pacientes y la prevención de riesgos sanitarios. [58]

Existen varios tipos de equipos de refrigeración utilizados en el sector salud, entre los que destacan:

Refrigeradores de glóbulos rojos: Diseñados para mantener la temperatura de los glóbulos rojos entre 1 °C y 6 °C, asegurando su viabilidad durante el almacenamiento. Estos equipos están equipados con sistemas de monitoreo para asegurar que la temperatura se mantenga dentro de los rangos óptimos. [3]

Congeladores de plasma: Utilizados para almacenar plasma a temperaturas de -18 °C o inferiores. Estos congeladores son críticos para la preservación de componentes sanguíneos y su disponibilidad para transfusiones y tratamientos médicos. [65]

Incubadoras de plaquetas: Mantienen las plaquetas a temperaturas controladas (20 °C a 24 °C) con agitación suave. Esto es fundamental para la conservación de plaquetas, las cuales son vitales en transfusiones y tratamientos oncológicos. [36]



Figura III: Equipos de refrigeración de hemocomponentes
Fuente: Helmer, 2024

La refrigeración adecuada de productos médicos es fundamental en el ámbito de la salud por diversas razones. En primer lugar, la preservación de la eficacia de muchos productos biológicos, como glóbulos rojos y plasma, depende de mantener condiciones específicas de temperatura. Estas condiciones son cruciales para asegurar que los productos mantengan su funcionalidad y puedan ser utilizados de manera efectiva cuando sean necesarios.

Además, un control riguroso de la temperatura es esencial para prevenir la contaminación y el deterioro de los productos almacenados. Las variaciones de temperatura pueden provocar la proliferación de microorganismos o la degradación de los componentes, lo que pone en riesgo la salud de los pacientes que dependen de estos productos. [3]

Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE)

El Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE) es una metodología sistemática utilizada para identificar y evaluar los posibles modos de fallas en un proceso, producto o servicio, y sus efectos sobre la calidad y seguridad. Su objetivo es priorizar los riesgos y establecer acciones preventivas que minimicen la probabilidad de ocurrencia de estas fallas. El AMFE se utiliza ampliamente en diversas industrias, incluyendo la manufactura, la automotriz y la médica, para mejorar la confiabilidad y la eficiencia de los sistemas. [16]

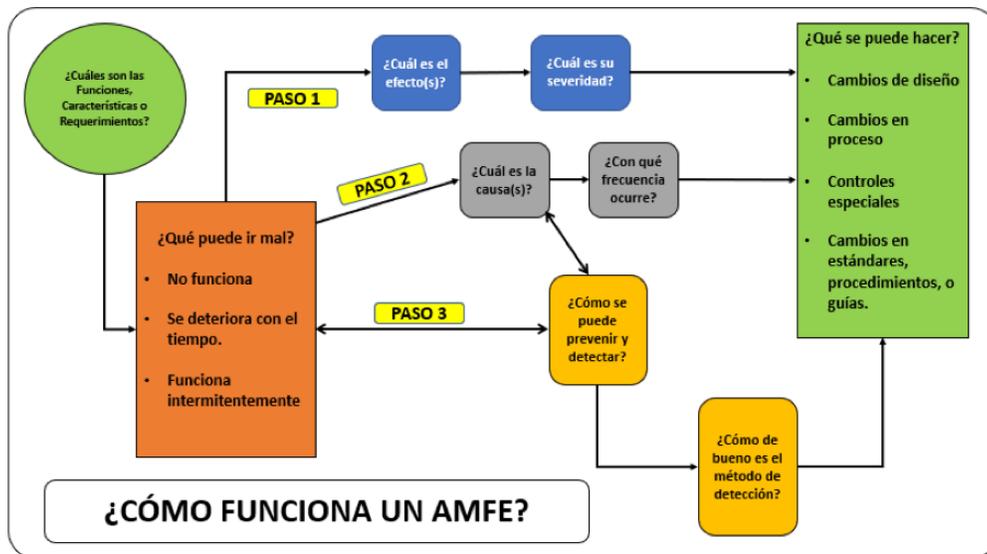


Figura IV: Metodología AMFE
Fuente: Progressa Lean, 2016

Enfoque Lean Six Sigma

Lean Six Sigma es un enfoque integrado que combina los principios de Lean (reducción de desperdicios y mejora continua) y Six Sigma (mejora de la calidad mediante la reducción de la variabilidad). Este enfoque busca no solo eliminar defectos, sino también optimizar el flujo de trabajo y maximizar el valor para el cliente. En este contexto, el AMFE se convierte en una herramienta valiosa para identificar áreas de mejora y prevenir fallas en procesos críticos. [53]

Criterios de evaluación en el AMFE

El AMFE se basa en la evaluación de tres criterios clave: severidad, ocurrencia y detección. Cada uno de estos criterios se califica en una escala del 1 al 10, donde 10 representa el nivel más alto de riesgo [2]. La Tabla VI resume estos criterios:

Severidad (S): Este criterio mide el impacto de una falla en el producto o proceso. Una puntuación alta indica que la falla tendría consecuencias graves, mientras que una puntuación baja sugiere un efecto menor. Por ejemplo, una falla que puede provocar lesiones graves recibiría una puntuación de 10, mientras que una que no tiene efectos perceptibles podría recibir una puntuación de 1. [2]

Ocurrencia (O): Este criterio evalúa la probabilidad de que ocurra un modo de falla. Una puntuación alta indica que la falla es muy probable, mientras que una puntuación baja sugiere que es poco probable que ocurra. Por ejemplo, un modo de falla que ha ocurrido frecuentemente en el pasado podría recibir una puntuación alta. [2]

Detección (D): Este criterio mide la capacidad del sistema para detectar una falla antes de que cause un impacto. Una puntuación alta en detección indica que es improbable que la falla sea detectada, mientras que una puntuación baja indica que hay un alto grado de probabilidad de detección. Por ejemplo, un sistema de control eficiente recibirá una puntuación baja en detección, indicando que puede identificar problemas antes de que ocurran. [2]

La combinación de estos criterios permite calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), que se obtiene multiplicando las puntuaciones de severidad, ocurrencia y detección:

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

Este número ayuda a priorizar las acciones correctivas y a enfocar los recursos en los modos de falla más críticos. [2]

Fundamentos de los sistemas de IoT

Los sistemas de monitoreo son conjuntos de herramientas y tecnologías diseñadas para observar, medir y analizar el comportamiento de procesos, dispositivos o entornos. Su principal objetivo es proporcionar información en tiempo real que permita la toma de decisiones informadas, la optimización de recursos y la mejora de la eficiencia operativa. Estos sistemas son utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo la industria, la salud, la agricultura y la gestión ambiental. [17]

Componentes de un sistema de monitoreo

Sensores: Dispositivos que detectan y miden variables físicas, como temperatura, humedad, presión, o iluminación. Los sensores son fundamentales para recopilar datos del entorno. [9]

Unidades de procesamiento: Estos pueden ser microcontroladores, computadoras o plataformas en la nube que procesan los datos recopilados por los sensores. Aquí se realizan análisis y se generan informes. [18]

Interfaz de comunicación: Protocolo utilizado para transmitir datos entre los sensores y las unidades de procesamiento. Esto puede incluir tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, o redes celulares. [32]

Interfaz de usuario: Herramientas que permiten a los usuarios interactuar con el sistema, como aplicaciones móviles o paneles de control, donde se visualizan los datos y se gestionan las configuraciones. [32]

Tecnologías de comunicación

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Es un protocolo ligero y eficiente, ideal para la comunicación entre dispositivos en tiempo real, especialmente en redes con ancho de banda limitado. Utiliza un modelo de publicación-suscripción, donde los dispositivos envían datos a un *broker* que redistribuye la información a otros dispositivos suscritos. Esto le permite funcionar adecuadamente en dispositivos con recursos limitados, como sensores en el Internet de las Cosas (IoT). [45]

CoAP (Constrained Application Protocol): Diseñado para dispositivos de baja potencia y redes con recursos restringidos. Opera sobre UDP (User Datagram Protocol), lo que permite transmisiones rápidas sin necesidad de establecer conexiones continuas. Es eficiente en el uso de energía, ideal para aplicaciones de IoT donde los dispositivos necesitan comunicarse de manera efectiva y rápida. [15]

HTTP/HTTPS: Son protocolos comunes para la transferencia de datos en la web. Funcionan bajo un modelo de solicitud-respuesta, lo que implica un mayor uso de recursos. Aunque son más pesados que MQTT y CoAP, su amplia compatibilidad y facilidad de implementación los hacen esenciales para aplicaciones web, garantizando la accesibilidad y seguridad de los datos, especialmente con HTTPS. [62]

Situación actual

El Banco de Sangre es una unidad crítica y fundamental dentro de la estructura del Laboratorio Clínico de un hospital. Esta sección se encarga de la gestión y provisión de sangre total y componentes sanguíneos (hemocomponentes) a los diferentes servicios del hospital, lo cual convierte al Banco de Sangre en un elemento clave para la atención médica integral. [48]

Tal como se detalla en el proceso de donación (véase Figura V), el almacenamiento adecuado de los hemocomponentes es uno de los pasos más importantes. Según los estándares de la Asociación para el Avance de la Sangre y las Bioterapias (AABB), los hemocomponentes (plaquetas, glóbulos rojos y plasma/crioprecipitados) tienen requerimientos específicos de conservación, los cuales se presentan en la Tabla I. [4]

Para garantizar la aptitud y calidad de los hemocomponentes requeridos posteriormente para uso clínico, es fundamental cumplir con las medidas de control y aseguramiento de la calidad establecidas. De lo contrario, se pueden ocasionar daños o deterioro de las unidades, lo que conllevaría no solo pérdidas económicas considerables, sino también pondría en riesgo la seguridad de los pacientes que dependen de estos productos sanguíneos vitales para su procedimiento y/o tratamiento médico. [4]

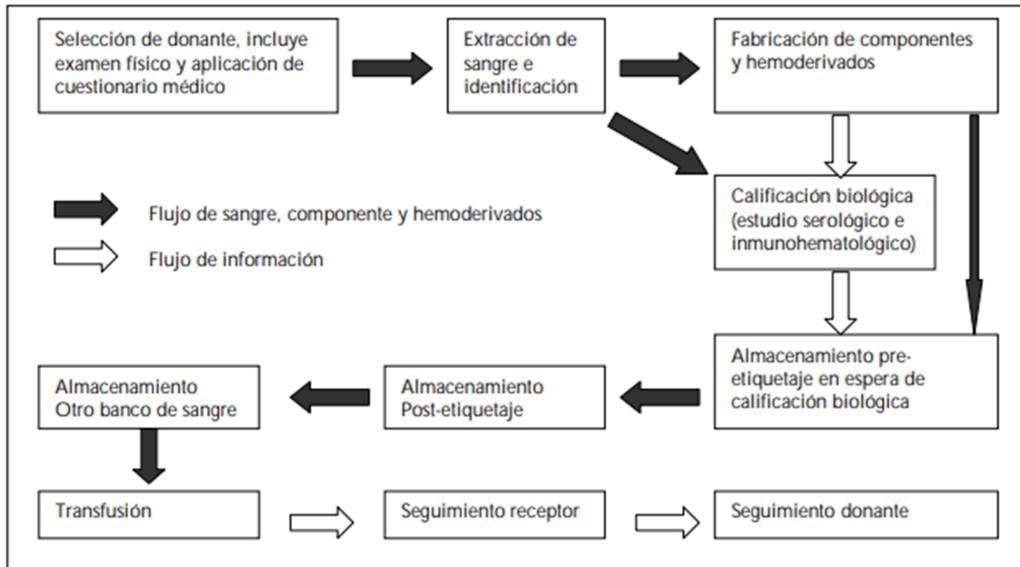


Figura V: Proceso de donación y control de hemocomponentes
Fuente: AABB, 2023.

Tabla I: Funciones primarias de los equipos de refrigeración de hemocomponentes

Equipo	Función primaria
Incubadora de plaquetas	Mantener las plaquetas en un rango de temperatura de 20 °C a 24 °C.
Congelador de plasma y crioprecipitados	Mantener el plasma fresco y los crioprecipitados en un rango de temperatura de -30 °C a -24 °C.
Refrigerador de glóbulos rojos	Mantener los glóbulos rojos en un rango de temperatura de 1°C a 6 °C.

Fuente: AABB, 2023.

Análisis estadístico del proceso de donación y disponibilidad de hemocomponentes

Según las estadísticas de donaciones del Banco de Sangre en el periodo 2023-2024 (véase Tabla II), de un total de 1335 personas que acudieron a donar, se aceptaron únicamente 891 donaciones, lo cual representa el 66.74 % del total recibido [21]. Esto implica que el 33.26 %

de las personas que se presentaron a donar, no cumplieron con los requisitos o criterios de elegibilidad establecidos por la Caja Costarricense de Seguro Social [12]. Adicionalmente, se registró que solo 475 personas, es decir el 35.58 % del total de asistentes, fueron considerados como nuevos donantes. Este dato pone de manifiesto la complejidad inherente al proceso de donación de sangre y sus componentes. [21]

Según una publicación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) del 2023, en muchos países de la región la demanda de sangre y hemocomponentes supera la oferta disponible, especialmente en los países de ingresos bajos y medianos. Esta brecha entre la demanda y la oferta representa un grave problema, ya que la disponibilidad oportuna y la calidad de los productos sanguíneos son fundamentales para brindar una atención médica efectiva y segura a la población. [51]

Complementando el análisis previo, la información estadística mostrada en la Tabla III revela una situación compleja en cuanto a la disponibilidad de unidades de sangre en este hospital. Para el 22 de agosto del presente año, se observa que los grupos sanguíneos A+, O+ y O- presentan una mayor proporción de unidades disponibles, mientras que los grupos AB+ y AB- se encuentran más limitados.

De conformidad con lo informado por el personal del Banco de Sangre, el hospital logra abastecer menos del 50 % de sus necesidades, debiendo solicitar el restante al Banco Nacional de Sangre. Esta dependencia externa puede generar retrasos y problemas de suministro en momentos críticos, lo que puede tener un impacto negativo en la atención médica. Por lo que un sistema de monitoreo en los equipos contribuiría a una mejor gestión de las reservas de hemocomponentes.

Tabla II: Estadística de donaciones registradas en Hospital San Carlos en 2024

Registros	Cantidad por género			Porcentaje %		
Criterio	H	M	TOTAL	H	M	TOTAL
Ofrecimientos recibidos	641	694	1335	48.01	51.99	100
Ofrecimientos aceptados	468	472	940	49.79	50.21	70.41
Donaciones extraídas	464	463	927	50.05	49.95	69.44
Donaciones aceptadas	445	446	891	49.94	50.06	66.74
Nuevos donantes	227	248	475	47.79	52.21	35.58

Fuente: Registros en Banco de Sangre de Hospital San Carlos, 2024.

Tabla III: Unidades disponibles por grupo sanguíneo al 22 de agosto del 2024 en Hospital San Carlos

Hemocomponentes	A+	A-	B+	O+	O-	AB+	AB-	TOTAL
Glóbulos rojos	24	4	10	31	11	0	0	80
Plaquetas	8	0	0	10	3	0	0	21
Plasma	17	5	13	22	8	23	1	89
Crioprecipitados	29	3	5	66	6	0	0	109

Fuente: Registros en Banco de Sangre de Hospital San Carlos, 2024.

Análisis técnico de los equipos de refrigeración

Según el Manual Técnico de la AABB, la temperatura es una variable crítica en el almacenamiento de los hemocomponentes. Por lo tanto, la correcta selección de los equipos de almacenamiento, como refrigeradores y congeladores de uso médico, que cumplan con las normas y certificaciones correspondientes, reviste una gran importancia en la hemovigilancia. [4]

Asimismo, la AABB solicita que la temperatura debe ser monitoreada constantemente, sin lapsos o interrupciones en el registro de las mediciones. Esto implica que los equipos utilizados deben contar con la capacidad de realizar un monitoreo continuo y automatizado de la temperatura. [4]

Como se puede observar en la Tabla IV, los equipos utilizados en el Banco de Sangre se consideran, a raíz de las especificaciones del fabricante, aptos para cumplir con las funciones primarias requeridas para el almacenamiento de los diferentes hemocomponentes. [24] [26] [28]

Sin embargo, los registros de Banco de Sangre muestran que, en la práctica, estos equipos no están manteniendo las temperaturas dentro de los rangos aceptables, lo cual pone en riesgo la calidad y viabilidad de los productos sanguíneos. Esto indica que, a pesar de la adecuada selección de los equipos, existen problemas en su funcionamiento y en los procesos de monitoreo y control de temperatura. [30]

Paralelamente, cabe mencionar que la documentación histórica relacionada con los fallos y el mantenimiento de los equipos es limitada. Sin embargo, a partir del análisis de los registros de temperatura, se ha determinado que los equipos han incumplido de forma reiterada con su función primaria de control de temperatura, tal como se mencionó anteriormente.

Tabla IV: Características técnicas de los equipos de refrigeración de hemocomponentes en Hospital San Carlos

Equipo	Marca	Modelo	Rango de temperatura (°C)	Capacidad (bolsas)
Incubadora de plaquetas	Helmer	PC900h	20 a 35	48
Congelador de plasma y crioprecipitados	Helmer	IPF20	-15 a -30	165
Refrigerador de glóbulos rojos	Helmer	IB111	2 a 10	360

Fuente: Fichas técnicas equipos Helmer, 2003-2021.

Monitoreo y registros de temperatura

Durante el período 2023-2024, el Banco de Sangre han identificado problemas en el monitoreo de la temperatura de los equipos de almacenamiento de hemocomponentes. Según

los registros, la temperatura se está midiendo únicamente de manera manual, una vez por turno, es decir, cada 8 horas, lo cual equivale a 93 registros mensuales y a 1116 registros anuales. Este procedimiento intermitente incumple el requerimiento de monitoreo continuo solicitado por la AABB. [30]

Al realizar un análisis estadístico de estos registros, se han encontrado porcentajes de frecuencia preocupantes. Específicamente, 9,41 % para la incubadora de plaquetas, sin embargo, actualmente ninguno de los equipos del Banco de Sangre en estudio está cumpliendo con el monitoreo continuo (ver Tabla V). [30]

Tabla V: Porcentaje de frecuencia en registros de temperatura en los equipos de refrigeración de hemocomponentes 2023-2024

Equipo	Mediciones anuales	Ocurrencia %
Incubadora	105	9,41
Congelador	1076	96,42
Refrigerador	1074	96,24

Fuente: Registro de temperaturas en Banco de Sangre de Hospital San Carlos, 2024.

Desarrollo de objetivos

I. Objetivo específico 1

Realizar un análisis de modo de fallas y efectos para la identificación de parámetros críticos de funcionamiento en el equipo de refrigeración y almacenamiento de hemocomponentes según las directrices de la Asociación para el Avance de la Sangre y las Bioterapias (AABB) y el Ministerio de Salud de Costa Rica.

I.I. Análisis de modos de fallos y efectos (AMFE)

Aplicando la metodología del Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE) bajo el enfoque de Lean Six Sigma [53], se realiza una exhaustiva recopilación de información sobre los equipos críticos involucrados en el procesamiento y almacenamiento de los hemocomponentes. Se revisan minuciosamente los registros históricos asociados a los procesos de manejo y conservación de los productos sanguíneos, así como también los parámetros de funcionamiento de los equipos según el fabricante, con el fin de identificar las funciones primarias de cada equipo y los registros de fallas o eventos adversos relacionados con su desempeño, y por otra parte, la segunda fase hace referencia a la mejora continua del proceso. (véase la Figura VI).

Dado que el Banco de Sangre del Hospital San Carlos opera bajo los estrictos lineamientos de la AABB, es imperativo garantizar el cumplimiento de los requisitos específicos establecidos para el almacenamiento y gestión de los hemocomponentes. Por lo tanto, el enfoque y desarrollo del AMFE se centra fundamentalmente en el análisis exhaustivo de la temperatura de los equipos, factor crítico para asegurar la calidad y viabilidad de los suministros sanguíneos. [4]

Partiendo de las funciones primarias identificadas para cada hemocomponente (véase la Tabla I), se procedió a desarrollar el Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE) de manera individual para cada uno de los equipos críticos involucrados. Si bien todos estos equipos son de refrigeración y comparten ciertos componentes, también presentan características

distintivas que deben ser analizadas de forma específica.

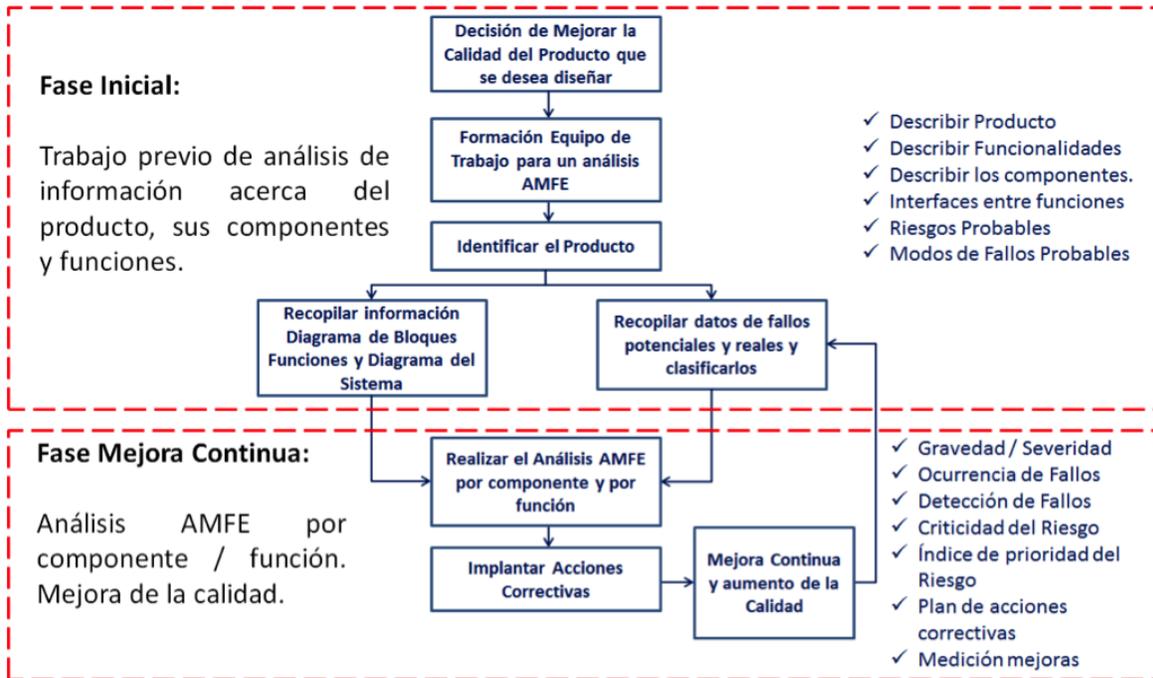


Figura VI: Fases de la metodología AMFE
Fuente: Progressa Lean, 2016.

Metodología y criterios de evaluación:

Según lo expuesto, los controles existentes en el Banco de Sangre se basan en el registro de temperatura de los equipos una vez por turno, en el mejor de los casos. Si se detecta alguna anomalía en los rangos de temperatura, el personal informa al Servicio de Mantenimiento o a los responsables del servicio de leasing, según corresponda. Sin embargo, no se realiza una gestión adecuada de los históricos de temperatura, lo que impide identificar las causas raíz de las fallas recurrentes de los equipos.

Dada esta situación, la implementación del AMFE se vuelve sumamente relevante y acorde con las necesidades actuales del servicio. Siguiendo los lineamientos del enfoque Lean Six Sigma, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo que permite identificar los modos de fallo, evaluar sus efectos y causas, y priorizar las acciones de mejora a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo) según los criterios de evaluación (véase Tabla VI). Esto posibilita el abordaje de manera sistemática de los principales riesgos que afectan la calidad,

seguridad y disponibilidad de los suministros sanguíneos, lo cual es fundamental para el desempeño eficaz del Banco de Sangre y el bienestar de los pacientes. [53]

Tabla VI: Criterios de evaluación de severidad, ocurrencia y detección de fallos según metodología AMFE

Puntuación	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)
10	Muy alta	Muy alta	Improbable
9			
8	Alta	Alta	Baja
7			
6	Relativa	Moderada	Moderada
5			
4			
3	Perceptible	Baja	Alta
2			
1	Imperceptible	Muy baja	Muy alta

Fuente: Progressa Lean, 2016.

Según el Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE) realizado, los componentes con los Números de Prioridad de Riesgo (NPR) más elevados en los tres equipos estudiados son las sondas de control de temperatura y los compresores. Estos elementos presentan NPR cercanos o superiores a 200, lo que los sitúa como los riesgos más críticos que deben abordarse con carácter prioritario.

En el caso de los ventiladores de los equipos, el AMFE también reveló que representan un riesgo considerable. Una de las causas principales identificadas para el fallo de estos componentes es la obstrucción por acumulación de suciedad y las fallas eléctricas en su alimentación. Este aspecto podría corregirse de manera efectiva y sencilla mediante la implementación de un programa de mantenimiento preventivo adecuado.

Asimismo, el análisis resaltó que los evaporadores de los condensados presentan un riesgo considerable también. Según la información proporcionada por el fabricante, una de

las principales causas de este riesgo es la obstrucción del evaporador por suciedad y fallas eléctricas en la alimentación. Al igual que en el caso de los ventiladores, este problema podría abordarse de manera eficaz a través de un mantenimiento preventivo efectivo.

En resumen, los hallazgos del AMFE indican que los componentes que requieren una atención prioritaria en los tres equipos, ya que influyen directamente en la función primaria y por tanto, la falla de estos implica el daño o la pérdida de los hemocomponentes, son:

1. Sondas de control de temperatura
2. Compresores
3. Ventiladores
4. Evaporadores de los condensados

El desarrollo de los AMFE para cada equipo en específico se puede visualizar en las Figuras VII, VIII y IX.

ANÁLISIS DE MODO, FALLA Y EFECTO EN INCUBADORA DE PLAQUETAS

Equipo:		Incubadora de plaquetas		Preparado por:		Egle Artola Zamora		Modelo:		PC900h - A	
Área:		Banco de sangre		Marca:		Helmer					
Función del equipo	Sistema/Componente	Función del sistema/componente	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	Causa(s) potencial de la falla	Controles actuales del proceso	S	D	O	N P R	Acción correctora
Mantener las plaquetas en un rango de temperatura de 22 °C a 24 °C.	Controlador de temperatura	Regular la temperatura del entorno en un rango específico mediante la integración y coordinación de varios componentes	Lectura incorrecta de temperatura	Daños o pérdida de unidades las plaquetas	Fallo electrónico en placa de controlador	Registro manual de temperatura cada 8 horas	9	4	4	144	Mantenimiento preventivo y monitoreo constante
	Termostato	Medir la temperatura y realizar ajustes directos en el sistema de refrigeración para mantener el rango de temperatura deseado	Lectura incorrecta de temperatura		Sensor de temperatura defectuoso	No existen	6	4	6	144	
	Unidad condensadora	Llevar a cabo todo el ciclo de refrigeración para enfriar y mantener la temperatura deseada	Reducción del rendimiento y eficiencia de la unidad condensadora		Fuga de refrigerante o avería en el compresor	No existen	9	4	4	144	
	Ventilador de cámara	Mantener una temperatura constante y uniforme dentro de la incubadora	Flujo de aire limitado		Acumulación de suciedad o falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	7	8	3	168	
	Cámara de calefacción	Aportar calor para mantener la temperatura dentro del rango objetivo requerido	Sobrecalentamiento		Fallas eléctricas	No existen	8	3	4	96	
	Evaporador del condensado	Eliminar el condensado generado durante el enfriamiento	Bloqueo por acumulación de condensado		Falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	5	4	9	180	
	Compresor	Comprime el refrigerante para permitir que el calor se transfiera al ambiente	Reducción del rendimiento y eficiencia		Sobrecarga de corriente o sobrecalentamiento del compresor	No existen	8	6	6	288	
Sonda de control de temperatura	Medir y monitorear continuamente la temperatura dentro de la cámara de la incubadora	Lectura de temperatura incorrecta	Sensor de temperatura defectuoso	No existen	9	3	8	216			

Figura VII: AMFE de incubadora de plaquetas marca Helmer
Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE MODO, FALLA Y EFECTO EN REFRIGERADOR DE GLÓBULOS ROJOS

Equipo: Refrigerador de banco de sangre		Preparado por: Egle Artola Zamora		Marca: Helmer		Modelo: IB111 i series					
Área: Banco de sangre											
Función del equipo	Sistema/Componente	Función del sistema/componente	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	Causa(s) potencial de la falla	Controles actuales del proceso	S	D	O	N P R	Acción correctora
Mantener los glóbulos rojos en un rango de temperatura de 2 °C a 6 °C.	Unidad de enfriamiento	Mantener la temperatura dentro del rango y distribuir el aire de frío uniformemente.	Temperatura fuera de rango óptimo	Daños o pérdida de unidades de glóbulos rojos.	Fuga de refrigerante, avería en compresor	No existen	9	4	3	108	Mantenimiento preventivo y monitoreo constante
	Ventiladores de unidad de enfriamiento	Asegurar distribución uniforme y adecuada del flujo de aire frío.	Circulación de aire limitada		Acumulación de suciedad o falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	6	7	4	168	
	Evaporador de condensado	Enfría el aire dentro de la cámara de almacenamiento mediante la evaporación del refrigerante.	Bloqueo por acumulación de condensado		Falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	8	5	6	240	
	Sonda de temperatura de cámara	Medición de la temperatura interior de la cámara y envía información de temperatura al sistema de control.	Lectura incorrecta de temperatura		Registro manual de temperatura cada 8 horas.	10	5	5	250		
	Motor de ventiladores de la unidad condensadora	Circula el aire a través de la unidad y mantiene regulada la temperatura del condensador.	Falla del motor del ventilador		Vibración excesiva	No existen	8	6	3	144	
	Sonda de descarga de condensador	Mide la temperatura a la salida del compresor y esto proporciona información sobre el rendimiento.	Fallo del sensor de temperatura		Problemas en el cableado en el sensor	No existen	9	5	4	180	
	Compresor AS	Permite un arranque gradual y reduce los picos de corriente.	Falla del compresor		Sobrecarga eléctrica	No existen	9	4	4	144	

Figura VIII: AMFE de refrigerador de glóbulos rojos marca Helmer
Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE MODO, FALLA Y EFECTO EN CONGELADOR DE PLASMA											
Equipo:	Congelador de plasma			Preparado por:	Egle Artola Zamora						
Área:	Banco de sangre			Marca:	Helmer			Modelo: IPF120 i.Series			
Función del equipo	Sistema/Componente	Función del sistema/componente	Modo potencial de falla	Efecto potencial de falla	Causa(s) potencial de la falla	Controles actuales del proceso	S	D	O	N P R	Acción correctora
Mantener el plasma y crioprecipitados en un rango de temperatura de -24 °C a -30 °C.	Unidad enfriamiento	Proporciona el enfriamiento necesario para mantener la temperatura del congelador.	Fugas en el sistema de refrigeración		Deterioro de sellos y conexiones	No existen	9	4	3	108	Mantenimiento preventivo y monitoreo constante
	Calentador de descongelación	Realiza el proceso de descongelación periódica para eliminar el hielo acumulado.	Acumulación excesiva de hielo en el evaporador		Problemas de drenaje	No existen	7	5	4	140	
	Ventilador unidad de enfriamiento	Circula el aire frío generado por el evaporador a través del congelador.	Fallo del ventilador de la unidad de enfriamiento		Falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	7	6	5	210	
	Termostato limitador del calentador de descongelación.	Controla y limita la temperatura del calentador de descongelación.	Fallo en la apertura/cierre del termostato		Avería en sensor de temperatura	No existen	9	5	3	135	
	Calentador de línea de drenaje	Mantiene la línea de drenaje de condensado caliente.	Fallo del calentador de línea de desagüe		Problemas de aislamiento térmico de la línea de drenaje	No existen	8	5	4	160	
	Calentador de montante	Calienta el montante del congelador para evitar congelación.	Fallo del calentador de montante		Fallo eléctrico en el sistema de alimentación	No existen	7	5	3	105	
	Ventilador de drenaje externo	Extrae el aire caliente del sistema de refrigeración.	Fallo del ventilador de drenaje externo	Daños o pérdida de unidades de plasma y crioprecipitados.	Acumulación de suciedad o falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	6	4	4	96	
	Sonda de control de temperatura	Medición de la temperatura dentro del congelador.	Daño en sonda y lecturas incorrectas.		Desgaste, daños físicos en la sonda	Registro manual de temperatura cada 8 horas	10	4	5	200	
	Sonda de control de descongelación del evaporador	Medir la temperatura de descarga del gas refrigerante después de pasar por el condensador.	Daño en sonda y lecturas incorrectas.		Desgaste, daños físicos en la sonda	No existe	9	5	4	180	
	Sonda de descarga del condensador	Monitorear la temperatura de descarga del refrigerante.	Daño en sonda y lecturas incorrectas.		Desgaste, daños físicos en la sonda	No existen	9	5	4	180	
	Evaporador de condensado	Elimina el agua condensada del sistema de refrigeración.	Fallo en el evaporador de condensado		Falla eléctrica en el sistema de alimentación	No existen	7	5	6	210	
	Compresor	Comprime el refrigerante para permitir que el calor se transfiera al ambiente	Reducción del rendimiento y eficiencia		Sobrecarga de corriente o sobrecalentamiento del compresor	No existen	10	6	4	240	
Motor del ventilador de la unidad condensadora	Hace circular el aire a través del condensador para la transferencia de calor.	Fallo del motor del ventilador de la unidad condensadora		Fallo eléctrico en el sistema de alimentación del motor.	No existen	9	4	3	108		

Figura IX: AMFE de congelador de plasma y crioprecipitados marca Helmer
Fuente: Elaboración propia

II. Objetivo específico 2

Diseñar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real basado en Internet de las Cosas (IoT) mediante un analizador de datos para la optimización de la toma de datos de temperatura y diagnóstico en los equipos de refrigeración.

II.I. Variables a monitorear

De acuerdo con los resultados del AMFE realizado en los tres equipos principales del Banco de Sangre, se determinó que los elementos con mayor NPR (Número de Prioridad de Riesgo) son las sondas de control de temperatura, los compresores, los ventiladores y los evaporadores del condensado.

Teniendo en cuenta que el objetivo del proyecto, además del diagnóstico de los equipos, es automatizar los registros de temperatura de manera eficiente y precisa, se decide enfocar los esfuerzos en las sondas de control de temperatura. Estos elementos son clave, ya que la variable a medir es la temperatura, la cual debe mantenerse dentro de los rangos óptimos para el correcto almacenamiento de cada hemocomponente según las directrices de la AABB. Sin embargo, también se contemplarán los ventiladores, los compresores y los evaporadores de condensados, para los cuales se monitoreará la variable de corriente, con el fin de determinar que su funcionamiento sea el adecuado según los parámetros de funcionamiento dictados por el fabricante, en este caso Helmer Scientific. [4]

Tabla VII: Variables a monitorear por equipo

Equipo	Componente	Variable a monitorear	Rango aceptable
Incubadora	Compresor	Corriente	2 a 5 A
	Sonda de temperatura	Temperatura	20 a 24 °C
	Ventilador	Corriente	0.5 a 1.0 A
	Evaporador	Corriente	0.43 a 0.5 A
Congelador	Compresor	Corriente	2 a 6 A
	Sonda de temperatura	Temperatura	-30 a -24 °C
	Ventilador	Corriente	0.5 a 1.0 A
	Evaporador	Corriente	0.21 a 0.35 A
Refrigerador	Compresor	Corriente	2 a 6 A
	Sonda de temperatura	Temperatura	1 a 6 °C
	Ventilador	Corriente	0.5 a 1.0 A
	Evaporador	Corriente	0.43 a 0.5 A

Fuente: Manuales de usuario equipos Helmer, 2003-2021.

II.II. Desarrollo de prototipo

En esta sección se describe el proceso técnico de desarrollo del prototipo del sistema de monitoreo de la condición en tiempo real, diseñado para la recopilación, procesamiento y visualización eficiente de datos. El objetivo principal de este sistema es permitir el seguimiento continuo de parámetros críticos, garantizando que la información esté disponible para la toma de decisiones informadas.

Ahora bien, el desarrollo del prototipo del sistema de monitoreo en tiempo real se articula en tres partes principales: el diseño del sistema, el hardware utilizado y el desarrollo del software. Cada una de estas secciones es fundamental para garantizar que el sistema

funcione de manera óptima y cumpla con los objetivos propuestos. Estas se describirán a continuación.

1. **Diseño del sistema:** El diseño del sistema es la base sobre la cual se construye el prototipo. Este proceso implica la planificación y estructuración de todos los componentes que formarán parte del sistema.

Arquitectura modular: Se opta por una arquitectura modular, donde cada componente del sistema se diseña como un módulo independiente. Esto permite que cada parte del sistema se pueda desarrollar, probar y actualizar de forma aislada, facilitando el mantenimiento y la escalabilidad. [42]

Selección de sensores: La elección de los sensores es crítica y se basa en las variables que se desean monitorear. Se seleccionan sensores específicos para medir temperatura y corriente, considerando factores como la precisión, el rango de medición y la respuesta en tiempo real. Esta selección asegura que los datos recolectados sean fiables y útiles para la toma de decisiones. [44]

Integración de componentes: El diseño del sistema también abarca cómo se interconectan los diferentes módulos. Se debe considerar la comunicación entre sensores, el microcontrolador y la interfaz de usuario, garantizando que los datos fluyan de manera eficiente y sin pérdidas. [42]

2. **Hardware:** El hardware es la parte tangible del prototipo y juega un papel crucial en su funcionamiento.

Microcontrolador: Se elige un microcontrolador como Arduino Uno o NodeMCU. Estos dispositivos actúan como el núcleo del sistema, gestionando la comunicación con los sensores y procesando los datos recibidos. Su capacidad de programación y flexibilidad permite adaptarse a diferentes requerimientos del proyecto. [5]

Conexiones y circuitos: Los sensores se conectan al microcontrolador a través de pines de entrada/salida. Es fundamental diseñar los circuitos de manera que se garantice la integridad de las señales. Se pueden incluir componentes adicionales como resistencias,

capacitores y optoaisladores para proteger los circuitos y mejorar la calidad de las señales. [37]

3. **Desarrollo de software:** El software es el componente que permite la interacción entre el hardware y el usuario, siendo esencial para el funcionamiento del sistema.

Entorno de programación: Se utiliza un entorno de programación como el Arduino IDE para desarrollar el software necesario. Este entorno proporciona herramientas y bibliotecas que facilitan la programación de los sensores y el microcontrolador, permitiendo una integración más fluida de los componentes. [5]

Algoritmos de procesamiento de datos: Se implementan algoritmos que permiten la adquisición y el procesamiento de datos en tiempo real. Esto implica la calibración de los sensores, la lectura periódica de datos y la aplicación de filtros para eliminar ruidos. La capacidad de procesar datos en tiempo real es fundamental para ofrecer información precisa y oportuna. [59]

Interfaz de usuario y comunicación: Se desarrolla un módulo de comunicación que permite enviar los datos recolectados a una aplicación web o móvil. Esta aplicación presenta una interfaz de usuario intuitiva, donde los usuarios pueden visualizar los datos en tiempo real mediante gráficos interactivos. También se implementan características de alerta que notifican al usuario sobre condiciones críticas, mejorando la capacidad de respuesta ante situaciones urgentes. [59]

Cabe destacar que este apartado será desarrollado y explicado en el Objetivo 3 del proyecto.

II.III. Selección de componentes principales para el desarrollo del prototipo

Selección de microcontrolador para el procesamiento de datos

Respecto a la selección del dispositivo principal utilizado para el análisis de datos, se analizaron en primera instancia cuales eran los microcontroladores disponibles en el mercado, así como también su precio, potencia de procesamiento, conectividad, entre otros aspectos técnicos. Ahora bien, luego de una búsqueda exhaustiva se determinó que algunos de los dispositivos que se adaptan de mejor manera a la naturaleza del proyecto fueron: Arduino UNO, Raspberry Pi, NodeMCU ESP32 y Nordic nRF52. [41]

A continuación se presentará la Tabla VIII en la cual se definen aspectos claves que se analizaron para la determinación del microcontrolador óptimo para el análisis de datos.

Tabla VIII: Comparativa de microcontroladores para procesamiento de datos

Dispositivo	Precio aproximado (\$)	Potencia de procesamiento	Conectividad	Consumo de energía
Arduino UNO	19	8 bits, limitado	No incluye	Alto
Raspberry Pi	110	Multi-core, alta capacidad	Ethernet y Wi-Fi	Alto
NodeMCU ESP32	11	Dual-core, buena potencia	Wi-Fi integrado	Bajo
Nordic nRF52	24	ARM Cortex, buena potencia	Bluetooth integrado	Muy bajo

Fuente: MicroJPM, 2024.

Ahora bien, a partir de la tabla presentada anteriormente, el NodeMCU se considera como la opción óptima y, por ende, se selecciona como microcontrolador para este sistema de monitoreo en tiempo real por varias razones que lo hacen superior en este contexto.

Compatibilidad de lenguaje de programación: Una de las principales ventajas del NodeMCU es su compatibilidad con el entorno de desarrollo Arduino IDE. Este hecho es crucial, ya que se posee experiencia y conocimiento en la programación utilizando este

entorno. Esto permite un desarrollo más ágil y reduce la curva de aprendizaje asociada con el uso de un nuevo microcontrolador. [1]

Costo efectivo: En comparación con otras opciones de microcontroladores, el NodeMCU se presenta como la alternativa más económica (\$ 11 aproximadamente). Esta característica es especialmente relevante en proyectos donde el presupuesto es limitado, permitiendo la implementación de tecnologías avanzadas sin incurrir en gastos excesivos. [41]

Procesador Dual-core: El NodeMCU cuenta con un procesador de doble núcleo, lo que proporciona una capacidad de procesamiento superior en comparación con muchos microcontroladores de una sola operación. Esta arquitectura permite manejar múltiples tareas simultáneamente, lo que es esencial para aplicaciones de monitoreo en tiempo real que requieren la captura y procesamiento de datos de manera eficiente. [1]

Módulo Wi-Fi Integrado: Una de las características más destacadas del NodeMCU es su módulo Wi-Fi integrado. Esto facilita la conexión a redes inalámbricas, eliminando la necesidad de módulos adicionales para la conectividad, como sucede con el Arduino Uno. Al evitar la incorporación de un módulo extra para Wi-Fi, se reducen las posibilidades de errores en la conexión y se simplifica el diseño del sistema. [1]

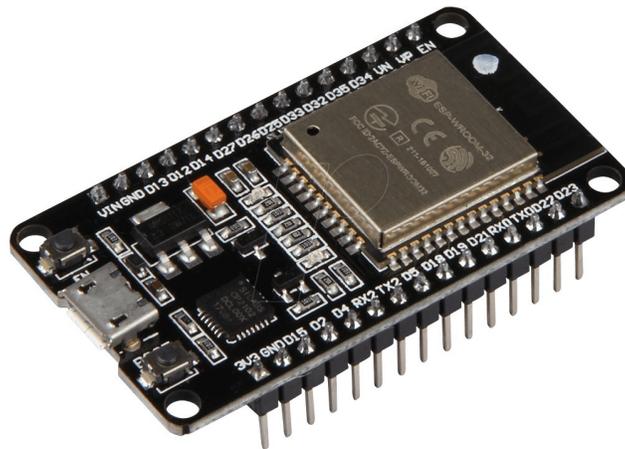


Figura X: NodeMCU ESP32
Fuente: MicroJPM, 2024.

Selección de sensores

A partir del análisis realizado en el primer objetivo del proyecto, se identificaron las variables críticas de los equipos en estudio. Estas variables son: la temperatura medida en la sonda de control de temperatura y la corriente eléctrica que fluye a través de los compresores, evaporadores de condensado y ventiladores. La selección de los sensores está, por tanto, directamente relacionada con estas dos variables fundamentales.

Sensor de corriente alterna

Siguiendo la metodología empleada en la elección del microcontrolador, se elaboró una tabla comparativa de sensores de corriente con distintas características técnicas, teniendo en cuenta factores como costo, rango de medición, resolución e invasividad. Esta información se presenta en la Tabla IX.

La elección de los sensores de corriente fue un proceso complejo debido a la naturaleza crítica del proyecto. Dado que se trata de equipos médicos que operan de manera continua, se consideraron múltiples factores para asegurar su fiabilidad y funcionalidad.

Se establecieron varias precauciones en la selección de estos sensores. En primer lugar, era fundamental que la conexión de los sensores presentara una baja invasividad para minimizar cualquier riesgo potencial para los equipos y su funcionamiento. Esto resulta especialmente crítico en entornos médicos, donde la interrupción del servicio puede acarrear consecuencias significativas como la pérdida de unidades de hemocomponentes. Además, dado el espacio limitado en la conexión eléctrica interna de los equipos, era necesario optar por sensores que pudieran adaptarse a estas restricciones físicas. Esto aseguraría una integración adecuada sin comprometer la funcionalidad ni la seguridad de los sistemas en los que se instalarían.

Tabla IX: Comparativa de sensores de corriente

Sensor	Precio aproximado (\$)	Rango medición (A)	Resolución (mA)	Invasividad
ACS712	7	$\pm 5, \pm 20, \pm 30$	10-20	Moderada (conexión en serie)
SCT-013	16	0 - 100	10	Baja (sin interrupción)
INA219	14	$\pm 3,2, \pm 32$	1-2	Moderada (conexión en serie)
ZMCT-103	10	± 5	10-20	Baja (sin interrupción)

Fuente: MicroJPM, 2024.

Aunado a esto, a pesar de que el costo es un factor a tener en cuenta, no fue la razón principal para seleccionar el sensor. La decisión se fundamentó en la necesidad de encontrar un componente que se adaptara de la mejor manera a las especificaciones del proyecto. Se priorizó la funcionalidad y la compatibilidad con los requisitos técnicos establecidos, asegurando así que el sensor elegido cumpla con las exigencias del sistema de monitoreo en tiempo real, por esto se concluye que el sensor de corriente ideal para el proyecto es el SCT 013.

Diseño Tipo "Gancho": El sensor SCT-013 se destaca por su diseño en forma de gancho, que permite una instalación eficiente en espacios reducidos. Este diseño facilita la integración en la infraestructura existente sin requerir modificaciones en los equipos, optimizando el tiempo de instalación. [60]

Resolución: El SCT-013 presenta una resolución de 10 mA, lo que permite una medición adecuada para aplicaciones donde se requiere monitorear corrientes en rangos moderados. Esta resolución es suficiente para detectar variaciones significativas en el consumo eléctrico, contribuyendo a un diagnóstico efectivo del estado de los equipos. [60]

Facilidad de instalación: Su diseño permite una rápida instalación y desinstalación,

lo que es beneficioso en entornos de alta disponibilidad, donde minimizar el tiempo de inactividad es esencial. La capacidad de realizar ajustes sin complicaciones asegura que el sistema se mantenga operativo y eficiente. [60]

Medición no invasiva: Al no requerir conexión en serie para la correcta lectura de corriente, se minimizan las interferencias en el funcionamiento del equipo médico, manteniendo la integridad de los datos. Esta característica es fundamental en entornos críticos, como Bancos de Sangre, donde el monitoreo constante es vital para el correcto almacenamiento de los hemocomponentes. [60]



Figura XI: Sensor de corriente modelo SCT 013
Fuente: MicroJPM, 2024.

Sensor de temperatura

Para la selección del sensor de temperatura, se consideraron dos aspectos fundamentales que son esenciales para garantizar la eficacia del sistema de monitoreo. En primer lugar, la geometría del sensor es crítica, ya que debe permitir el acceso al interior de la cámara del equipo para realizar mediciones precisas. Este acceso asegura que el sensor esté en contacto directo con el ambiente a medir, lo que garantiza que los datos capturados sean representativos de las condiciones internas.

En segundo lugar, el rango de temperatura del sensor es igualmente importante. Debe operar dentro de los límites esperados en el equipo, especialmente para el tipo de hemocomponente almacenado. Como se detalla en la Tabla I, la temperatura es la variable más crítica del proyecto, ya que su control es esencial para el adecuado almacenamiento de las unidades de hemocomponentes.

Tabla X: Comparativa de sensores de temperatura

Sensor	Precio aproximado (\$)	Rango medición ($^{\circ}\text{C}$)	Precisión ($^{\circ}\text{C}$)	Geometría
Termocupla Tipo K	13	-200 a 1260	$\pm 2,2$ (en rango de 0-1000 $^{\circ}\text{C}$)	Sonda o conector
LM35DZ	4	-55 a 150	$\pm 0,5$ a 25 $^{\circ}\text{C}$	Cilíndrico
TMP36	4	-40 a 125	± 1	Cilíndrico
DS18B20	4	-55 a 125	$\pm 0,5\text{C}$ (en rango de -10 a 85 $^{\circ}\text{C}$)	Cilíndrico

Fuente: MicroJPM, 2024.

Considerando las opciones presentadas en la Tabla X, se determina que la termocupla tipo K es la más adecuada para satisfacer las necesidades específicas del proyecto. Esta elección se fundamenta en diversas características técnicas que la hacen particularmente idónea para las aplicaciones requeridas en el monitoreo de temperatura.

Geometría de la termocupla tipo K: La termocupla tipo K presenta un diseño en

forma de sonda que proporciona alta flexibilidad durante la instalación y manipulación. Esta capacidad de adaptación permite una colocación precisa en áreas de difícil acceso, asegurando mediciones representativas y precisas, especialmente en entornos críticos. [57]

Rango de temperatura: Su rango operativo abarca desde -200 hasta 1260 °C, lo que se alinea perfectamente con los requisitos establecidos en la Tabla I. Esta amplia gama asegura que el sensor pueda manejar tanto temperaturas bajas como altas, lo cual es fundamental para el monitoreo efectivo de las condiciones de almacenamiento de hemocomponentes. [57]

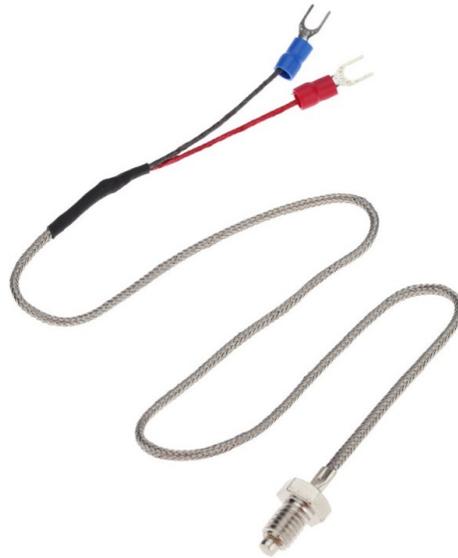


Figura XII: Termocupla Tipo K de sonda
Fuente: MicroJPM, 2024.

II.IV. Diseño preliminar del prototipo

La sección de diseño preliminar del prototipo se centra en el ensamblaje de los componentes principales y secundarios. Entre los componentes secundarios, se incluye una pantalla LCD 16x2, que permite visualizar de manera continua la lectura de la termocupla. Esta pantalla es fundamental para proporcionar información en tiempo real sobre la temperatura medida.

Además, se incorporan tres LEDs de diferentes colores, que sirven como indicadores visuales del estado de la temperatura. Estos LEDs se encienden o apagan según el parámetro donde se encuentre la temperatura. Se destaca que los parámetros óptimos de temperatura son establecidos por la AABB, los cuales se mencionaron al inicio del proyecto (ver Tabla I).

También se contempla la alimentación del microcontrolador, así como la inclusión de resistencias y capacitores necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de los sensores conectados. Estos componentes son esenciales para estabilizar las señales eléctricas y prevenir interferencias que puedan afectar la precisión de las lecturas.

Por último, se incluye un módulo MAX6675, que está conectado a la termocupla. Este módulo tiene la función de convertir la señal analógica de la termocupla en datos digitales, permitiendo que el microcontrolador procese la información de temperatura de manera eficiente. El MAX6675 facilita la comunicación entre la termocupla y el microcontrolador, asegurando una medición precisa y confiable de la temperatura en el sistema. [38]

En la Figura XIX se ilustra el montaje del prototipo, detallando la disposición de cada uno de los componentes mencionados anteriormente. Esta información se complementa con la Tabla XI, que ofrece una ubicación precisa de cada componente utilizado en el sistema.

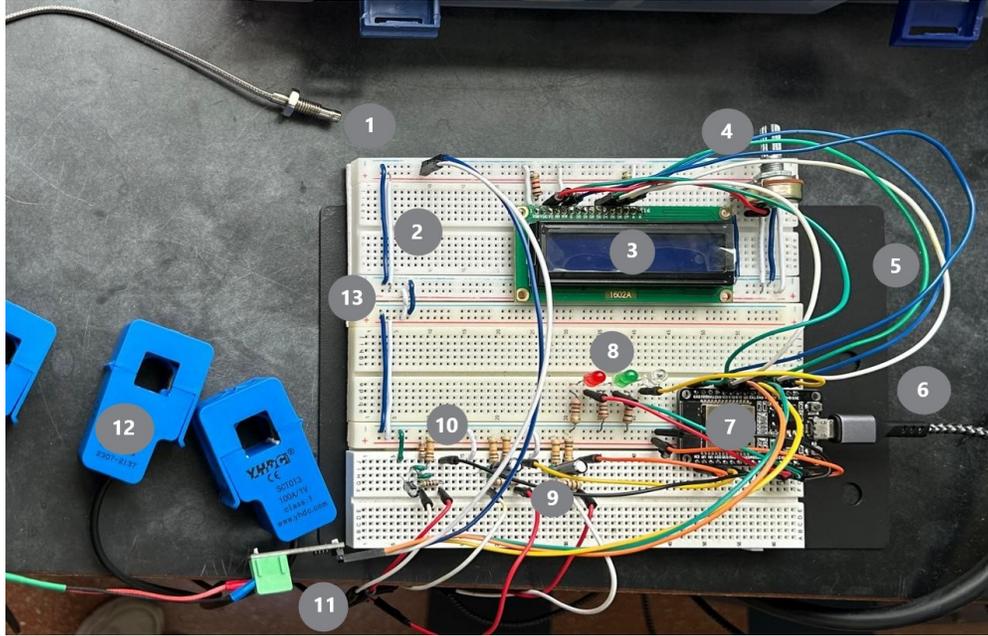


Figura XIII: Diseño preliminar de prototipo
Fuente: Elaboración propia

Tabla XI: Ubicación de los componentes del prototipo

Número	Componente
1	Termocupla tipo K
2	Protoboard
3	Pantalla LCD 16x2
4	Potenciómetro
5	Jumpers
6	Cable microUSB
7	NodeMCU ESP32
8	LED's
9	Capacitores 10 uF
10	Resistencias
11	Módulo MAX6675
12	Sensor corriente SCT 013
13	Cable 22 AWG

Fuente: Elaboración propia

III. Objetivo específico 3

Desarrollar un sistema de adquisición de datos automatizado para la supervisión de las variables relacionadas con los modos de fallas de los equipos de refrigeración mediante el uso de sensores y tecnologías de comunicación para la transmisión de datos.

Por lo tanto, se plantea el diseño de un sistema de monitoreo y control de temperatura automatizado que permita:

1. Adquisición de datos y monitoreo de temperatura y corriente en tiempo real:

- Integración de sensores de temperatura y corriente calibrados y certificados en los equipos.
- Conexión de los sensores a un sistema de control centralizado.
- Programación de alarmas y notificaciones ante desviaciones de los rangos de temperatura y corriente establecidos.

2. Registros digitales de temperatura y corriente:

- Registro continuo de los datos de temperatura y corriente.
- Visualización de los registros a través de una interfaz gráfica de usuario.
- Generación de reportes periódicos para el análisis y trazabilidad.

3. Integración con el sistema de gestión del Banco de Sangre:

- Vinculación del sistema de monitoreo de temperatura con el sistema de gestión general.
- Acceso a la información de temperatura desde múltiples puntos y dispositivos.

III.I. Selección de equipo para pruebas de validación

Como se detalla en la Tabla I, el Banco de Sangre dispone de tres equipos de refrigeración de hemocomponentes: el refrigerador de glóbulos rojos, el refrigerador de plasma y la incubadora de plaquetas (ver Figura XIV). Dada la limitación de tiempo para la realización del proyecto, se ha decidido llevar a cabo las pruebas de validación en uno de estos tres equipos. A continuación, se presentan las variables a considerar para la selección del equipo.



Figura XIV: Equipos de refrigeración de hemocomponentes
Fuente: Elaboración propia

Capacidades técnicas del equipo: El refrigerador de plasma y el refrigerador de glóbulos rojos fueron adquiridos en 2019 y 2013, respectivamente, mientras que la incubadora de plaquetas data de 2005. Los dos primeros equipos son relativamente modernos y están equipados con interfaces que permiten el registro automatizado de la temperatura, además de ofrecer funciones avanzadas como la visualización en tiempo real del comportamiento de las variables críticas. En contraste, la incubadora de plaquetas carece de estas tecnologías;

su única forma de monitoreo de temperatura es a través de un termómetro analógico, lo que limita su capacidad para generar registros precisos y continuos. [22]

Tiempo de vida útil: Según el fabricante Helmer, sus equipos están diseñados para soportar el uso diario durante un periodo de hasta 10 años. A pesar de que el refrigerador de glóbulos rojos cumplió su vida útil recomendada el año pasado, la incubadora de plaquetas ha superado este tiempo más del doble, lo que la convierte en un equipo crítico que requiere un monitoreo constante de su funcionamiento. [22]

Información del personal médico: A partir de los registros de temperatura del Banco de Sangre y de las mediciones registradas en la Tabla V, se observa que la incubadora de plaquetas tiene la menor cantidad de mediciones anuales. Según el personal médico del Banco de Sangre, esto se debe a que, en numerosas ocasiones, se olvida reportar los registros de temperatura. Esta falta de documentación puede llevar a un monitoreo deficiente, poniendo en riesgo la integridad de las unidades.

Intervenciones electromecánicas al equipo: De acuerdo con los registros del Servicio de Mantenimiento, se ha documentado un número significativo de intervenciones de mantenimiento en la incubadora de plaquetas en el último año, siendo ésta la que más atención ha requerido en comparación con los otros dos equipos. Estas intervenciones frecuentes pueden ser indicativas de problemas en el desempeño del equipo, lo que a su vez podría impactar en la eficacia del almacenamiento de plaquetas. [22]

Por tanto, después de evaluar las capacidades técnicas, el tiempo de vida útil, la información del personal médico y la frecuencia de intervenciones, se elige la incubadora de plaquetas para la realización de pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo de la condición en tiempo real (ver Figura XV).



Figura XV: Incubadora de plaquetas Helmer
Fuente: Elaboración propia

III.II. Selección de plataforma de IoT para análisis de datos

Siguiendo la misma metodología empleada en la selección de componentes para el prototipo, se llevó a cabo una investigación exhaustiva de diversas plataformas IoT con el objetivo de identificar aquellas que se ajustaran mejor a las necesidades del proyecto para el análisis de datos.

Este proceso implicó un análisis detallado de las características, capacidades y limitaciones de cada plataforma. Se consideraron aspectos como la facilidad de uso de la interfaz, la disponibilidad de planes gratuitos, la capacidad de almacenamiento de datos y la posibilidad de realizar descargas automatizadas de registros. También se evaluaron las opciones de notificación y alarmas, que son esenciales para un monitoreo efectivo en tiempo real.

Se recopiló información sobre plataformas populares como ThingSpeak, Adafruit IO, Blynk y Azure IoT Hub. Cada una de estas opciones se analizó en términos de su funcio-

nalidad y flexibilidad, así como la calidad de su documentación y la comunidad de usuarios que las respaldan. Esto permitió obtener una visión clara de cómo cada plataforma podría integrarse en el flujo de trabajo del proyecto y qué ventajas potenciales ofrecería.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo que detalla las características y capacidades de las plataformas IoT mencionadas. Este cuadro permite visualizar de manera clara las diferencias y similitudes entre las opciones evaluadas, facilitando así la toma de decisiones informada en función de las necesidades específicas del proyecto.

Tabla XII: Comparativa de plataformas IoT

Plataforma	Facilidad de integración	Descarga automatizada de registros	Alarmas	Manejo de interfaz
ThingSpeak	Sensores y APIs	Sí, exportación en formato CSV.	Sí, configurables.	Muy fácil de usar
Adafruit IO	Dispositivos y servicios.	Sí, mediante API y web.	Sí, notificaciones en tiempo real.	Fácil de usar
Blynk	Dispositivos Blynk.	No directamente; requiere API.	Sí, notificaciones push a dispositivos.	Requiere aprendizaje
Azure IoT Hub	Servicios de Azure y APIs	Sí, mediante APIs y herramientas de Azure	Sí, configurables mediante Azure Functions.	Curva de aprendizaje pronunciada

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que todas las plataformas analizadas son compatibles con el entorno de desarrollo IDLE de Arduino y ofrecen planes gratuitos, lo que permite a los usuarios experimentar y desarrollar prototipos sin incurrir en costos adicionales.

Ahora bien, a partir de la comparativa realizada, se determina que ThingSpeak es la

opción más robusta y versátil para el proyecto en desarrollo. Su capacidad para integrar una amplia variedad de sensores y APIs, junto con características como la descarga automatizada de registros en formato CSV y la configuración de alarmas, la convierten en una herramienta excepcional para el monitoreo y análisis de datos en tiempo real. Además, su interfaz intuitiva facilita su uso, lo que la hace accesible tanto para principiantes como para desarrolladores experimentados. [61]

III.III. Diseño de código de programación

Descripción general

El código presentado está diseñado para un dispositivo que realiza la medición de temperatura y corriente eléctrica de múltiples componentes. Emplea un sensor de temperatura (termocupla tipo K) conectado al módulo MAX6675 y sensores de corriente SCT 013, permitiendo la monitorización precisa de ambos parámetros. La información de temperatura se visualiza en una pantalla LCD, mientras que el dispositivo se conecta a Internet para transmitir datos a la plataforma ThingSpeak a través de una conexión WiFi. Adicionalmente, el sistema gestiona LEDs que proporcionan indicaciones visuales sobre el estado de la temperatura, facilitando la supervisión del rendimiento del sistema en tiempo real.

Componentes principales

1. Librerías:

- *max6675.h*: Permite leer la temperatura del sensor MAX6675.
- *LiquidCrystal.h*: Controla la pantalla LCD para mostrar la temperatura.
- *ThingSpeak.h*: Facilita la conexión a la plataforma ThingSpeak para enviar datos.
- *WiFi.h*: Permite al dispositivo conectarse a una red WiFi.
- *EmonLib.h*: Utilizada para medir la corriente eléctrica.

- ##### 2. Definición de pines:
- Se definen pines específicos en el dispositivo para el sensor de temperatura y los LEDs.

3. **Configuración de WiFi:** Se introducen el nombre de la red (SSID) y la contraseña para que el dispositivo se conecte a Internet.
4. **Configuración de ThingSpeak:** Se establece el número de canal y la clave de API para poder enviar datos a la plataforma.
5. **Inicialización de componentes:** Se inicializa el sensor de temperatura y la pantalla LCD. Se configuran los pines de los LEDs como salidas.

```

#include <max6675.h>
#include <LiquidCrystal.h> // Librería LCD
#include <ThingSpeak.h>
#include <WiFi.h>
#include "EmonLib.h" // Librería para medir energía

-----

// Pines para el MAX6675
int thermoDO = 19; // Pin de datos
int thermoCS = 5; // Pin de selección
int thermoCLK = 18; // Pin de reloj

-----

// Configuración de WiFi
const char* ssid = ' '; // Tu SSID de red
const char* password = " "; // Tu contraseña de red

WiFiClient client;

-----

// Configuración de ThingSpeak
unsigned long myChannelNumber = 2660311; // Número de canal
const char * myWriteAPIKey = "T6601G2KYVGT51MP"; // Clave de API de escritura
-----

```

Figura XVI: Configuración de librerías y conexión WiFi
Fuente: Elaboración propia

Funcionamiento del programa

1. Configuración inicial (setup):
 - Se inicia la comunicación con la pantalla LCD y el puerto serie para la depuración.
 - Se establece la conexión a la red WiFi y se espera a que se conecte.
 - Se configuran los sensores de corriente.

```

void setup() {
  // Configuración de la pantalla y comunicación serie
  lcd.begin(16, 2); // Configuración de pantalla para 16 columnas y 2 filas
  Serial.begin(9600); // Inicializa la comunicación serie
  delay(1000);

  // Configuración de puertos digitales como salidas
  pinMode(PinVerde, OUTPUT);
  pinMode(PinRojo, OUTPUT);
  pinMode(PinAmarillo, OUTPUT);

  // Inicializa los LEDs en estado bajo
  digitalWrite(PinAmarillo, LOW);
  digitalWrite(PinRojo, LOW);
  digitalWrite(PinVerde, LOW);

  // Conectar a la red WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);

  // Esperar conexión WiFi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print("Conectando...");
  }

  Serial.print("WiFi conectado");
  Serial.print("IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  ThingSpeak.begin(client); // Inicializa ThingSpeak

  emon1.current(34, CALIBRACION_CORRIENTE_1); // Sensor de corriente 1
  emon2.current(35, CALIBRACION_CORRIENTE_2); // Sensor de corriente 2
  emon3.current(36, CALIBRACION_CORRIENTE_3); // Sensor de corriente 3
}

```

Figura XVII: Configuración inicial del código de programación
Fuente: Elaboración propia

2. Bucle principal (loop):

- Lectura de temperatura: Se obtiene la temperatura del sensor. Si se presenta algún problema que implique que la lectura no se pueda llevar a cabo, se termina la ejecución.
- Mostrar temperatura: La temperatura se muestra en la pantalla LCD y también se imprime en el monitor serie de Arduino IDE.
- Control de LEDs: Si la temperatura es menor a 20°C, se enciende un LED amarillo y se muestra un mensaje de advertencia. Si es mayor a 24°C, se enciende un LED

rojo con un mensaje similar. Si está en el rango correcto, se enciende un LED verde.

```
void loop() {
  // Lectura de temperatura
  float TemperaturaSinCalibracion = thermocouple.readCelsius(); // Leer temperatura sin ajustar

  // Verificar si la lectura es válida
  if (isnan(TemperaturaSinCalibracion)) {
    Serial.println("Error al leer el sensor");
    return; // Salir si hay un error
  }

  float Temperatura = TemperaturaSinCalibracion; // Leer y ajustar temperatura

  // Mostrar temperatura en el LCD
  lcd.clear(); // Limpiar LCD
  lcd.setCursor(0, 0); // Configurar el cursor
  lcd.print(Temperatura); // Mostrar temperatura en pantalla
  lcd.print("'C"); // Mensaje en pantalla

  // Imprimir temperaturas en el monitor serie
  Serial.print("Temperatura: ");
  //Serial.println(TemperaturaSinCalibracion);
  //Serial.print("Temperatura final: ");
  Serial.println(Temperatura);

  // Control de LEDs y mensajes
  if (Temperatura < 20) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Baja: REVISAR");
    digitalWrite(PinAmarillo, HIGH); // Enciende LED AMARILLO
    digitalWrite(PinVerde, LOW);
    digitalWrite(PinRojo, LOW);
  }
  else if (Temperatura > 24) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Alta: REVISAR");
  }
}
```

Figura XVIII: Determinación de parámetros óptimos de temperatura
Fuente: Elaboración propia

3. Envío de datos a ThingSpeak:

- Se envían los datos de temperatura y las corrientes eléctricas medidas a la plataforma ThingSpeak.
- Se imprime un mensaje en la consola para confirmar que los datos han sido enviados.

4. Esperar: El programa espera 10 segundos antes de realizar la siguiente lectura, lo que ayuda a no saturar la red y permite que los datos sean más manejables.

```

ThingSpeak.setField(2, (float)Irms1); // Enviar corriente 1 al campo 2 (ventilador)
ThingSpeak.setField(3, (float)Irms2); // Enviar corriente 2 al campo 3 (evaporador)
ThingSpeak.setField(4, (float)Irms3); // Enviar corriente 3 al campo 4 (compresor)
-----
if (ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey) == 200) {
    Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak");
} else {
    Serial.println("Error al enviar datos a ThingSpeak");
}
-----
// Imprimir corrientes en el monitor serie
Serial.print("Corriente ventilador: ");
Serial.println(Irms1, 4); // Imprimir corriente 1
Serial.print("Corriente evaporador: ");
Serial.println(Irms2, 4); // Imprimir corriente 2
Serial.print("Corriente compresor: ");
Serial.println(Irms3, 4); // Imprimir corriente 3

delay(15000); // Esperar 15 segundos antes de la próxima lectura
}

```

Figura XIX: Envío de datos a ThingSpeak
Fuente: Elaboración propia

III.IV. Validación de sistema de monitoreo

Como se mencionó anteriormente, el equipo utilizado para las pruebas de validación fue la incubadora de plaquetas de la marca Helmer. A continuación, se detallan las consideraciones pertinentes para la correcta ejecución de las pruebas.

En primer lugar, las mediciones se llevaron a cabo durante un período de una hora, por cuatro días, con intervalos de adquisición de datos cada 15 segundos. Esto resulta en un total de 960 mediciones, lo que proporciona un conjunto de datos representativo y robusto para el análisis. La elección de este intervalo de tiempo se realizó con el objetivo de capturar variaciones en la temperatura de la incubadora de manera precisa y continua, así como también considerando que el límite de tiempo para la actualización de mensajes en ThingSpeak es de 15 segundos.

El propósito de estas mediciones fue evaluar la precisión de los datos obtenidos en comparación con las lecturas realizadas con equipos de medición, como un multímetro y un termómetro. Esto es fundamental para validar la veracidad y confiabilidad del funcionamiento del prototipo propuesto.

Diagrama eléctrico y colocación de sensores

A partir de la información proporcionada por el fabricante y los manuales del equipo, se considera el diagrama eléctrico, el cual es fundamental para la identificación y localización de los componentes, así como para la posterior instalación de los sensores de corriente. Con el fin de optimizar el proceso de intervención y garantizar la ubicación precisa de los elementos a monitorear, se destacan claramente en el diagrama eléctrico las posiciones del ventilador de la cámara (color verde), el compresor (color naranja) y el evaporador del condensado (color púrpura). Esta representación se ilustra en las Figuras XX y XXI.

Este enfoque resulta fundamental para las pruebas de validación subsiguientes, dado que la incubadora de plaquetas, al igual que los demás equipos en el Banco de Sangre, opera de manera continua. La labor de preparación realizada no solo contribuye a un ahorro significativo de tiempo, sino que también minimiza la probabilidad de errores durante la ejecución de las pruebas, lo que es crítico en un entorno donde el personal médico realiza constantes extracciones de unidades de plaquetas.

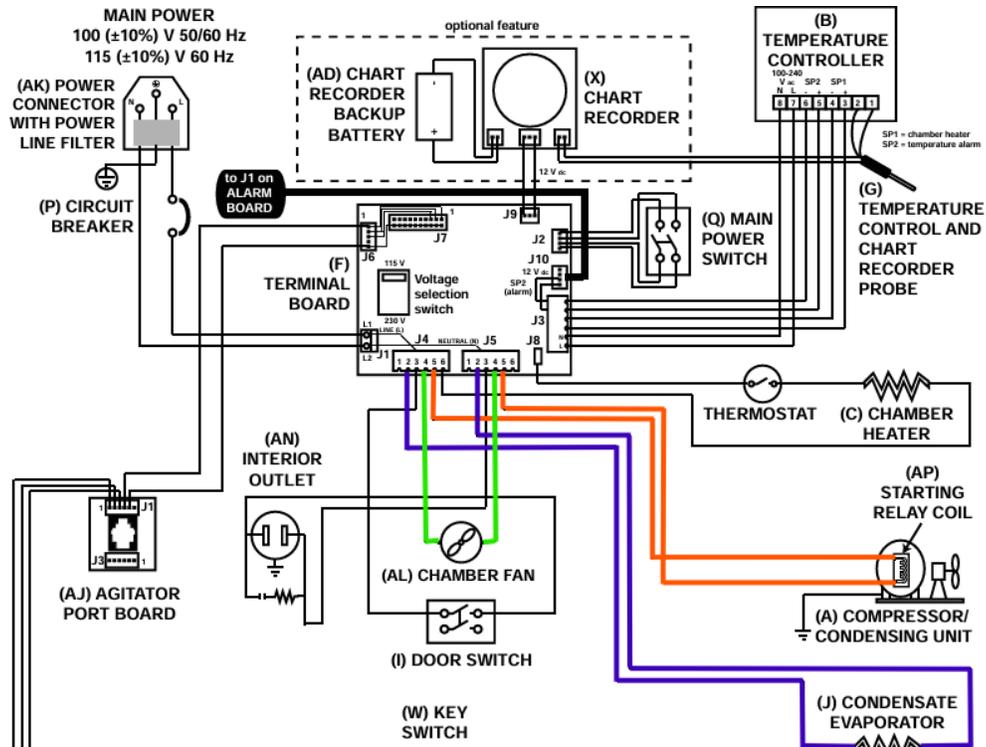


Figura XX: Diagrama eléctrico de incubadora de plaquetas Helmer
Fuente: Manual de servicio de incubadora de plaquetas Helmer, 2018.

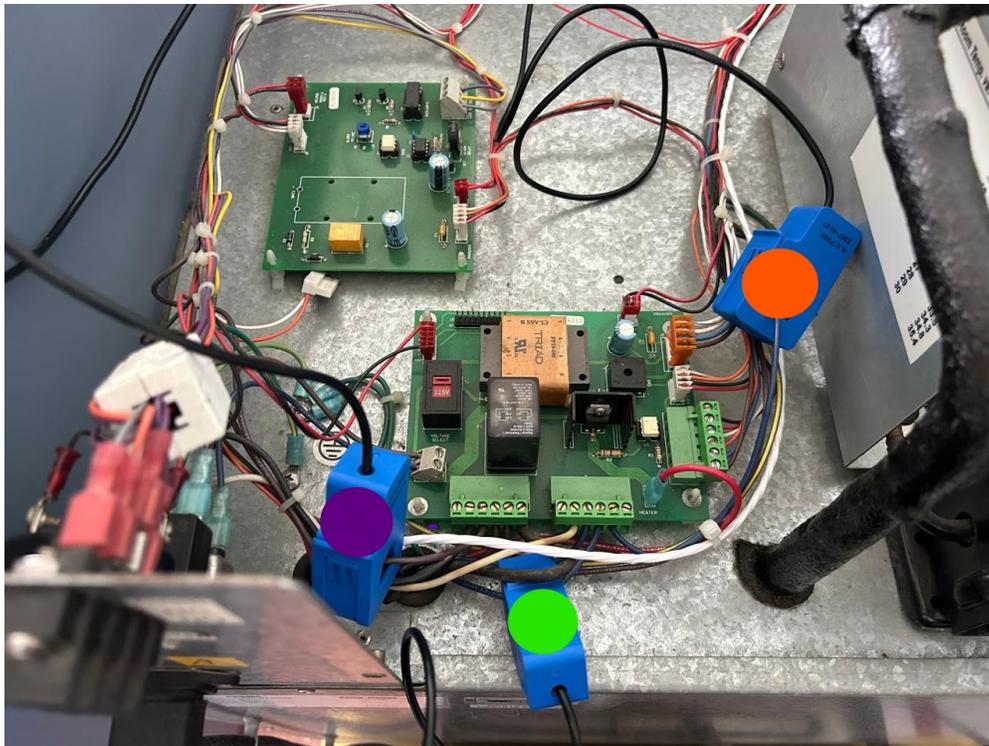


Figura XXI: Colocación de sensores en incubadora de plaquetas Helmer
Fuente: Elaboración propia

Pruebas de validación

En relación con el desarrollo de las pruebas de validación del sistema, es importante señalar que se empleó equipo de medición comercial para garantizar tanto la calibración de los sensores como la precisión de las mediciones. En particular, se utilizó un multímetro tipo gancho para la medición de corriente, mientras que la temperatura se verificó mediante el termómetro integrado en el equipo. Este enfoque asegura la fiabilidad de los datos recopilados durante las pruebas, permitiendo una evaluación precisa del rendimiento del sistema.



Figura XXII: Medición de la corriente del ventilador utilizando un multímetro de gancho
Fuente: Elaboración propia

En la Figura XLVI se ilustra el funcionamiento del sistema, con un enfoque particular en el sensor de temperatura. Dado que la temperatura es una variable crítica para el correcto almacenamiento de los hemocomponentes, se ha incorporado el componente LCD 16x2 para permitir una visualización rápida y sencilla de la temperatura de las plaquetas. Además, se implementó un sistema de alarma visual, tanto en la pantalla como mediante LEDs. Estos LEDs indican, como se mencionó anteriormente, si la temperatura se encuentra dentro del rango óptimo de funcionamiento o si, por el contrario, se encuentra fuera de dicho rango.

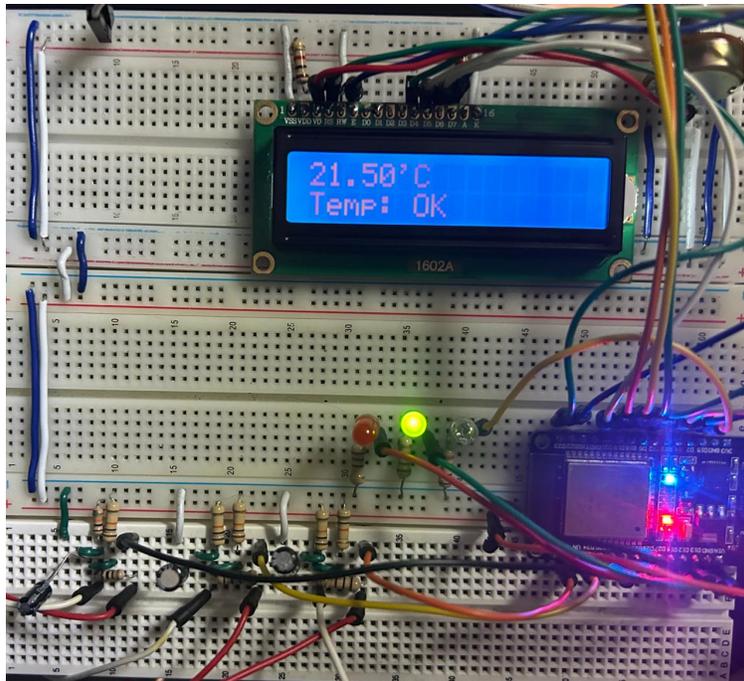


Figura XXIII: Prueba de funcionamiento de termocupla tipo K
Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se empleó el monitor serie de Arduino IDE para capturar y registrar las lecturas de corriente correspondientes a cada uno de los sensores. El diseño del código de programación incorpora una función que genera un mensaje informativo, el cual indica de manera clara si las mediciones han sido enviadas correctamente a la plataforma ThingSpeak o si ha habido algún error en el proceso de transmisión. Esto permite al usuario verificar la integridad de los datos y la conectividad del sistema en tiempo real.

```
Temperatura: 22.50  
Datos enviados a ThingSpeak  
Corriente RMS 1: 0.4413  
Corriente RMS 2: 0.4064  
Corriente RMS 3: 2.9697
```

Figura XXIV: Visualización de lecturas de sensores y estado de datos en ThingSpeak
Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico de los datos

Tabla XIII: Estadísticas de las mediciones obtenidas

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mín	Máx
Temperatura sonda	22.2116	0.2421	0.0586	21.25	22.75
Corriente evaporador	0.4707	0.0222	0.0005	0.3920	0.614
Corriente ventilador	0.5707	0.0255	0.0007	0.5	0.65
Corriente compresor	2.6229	0.0661	0.0043	2.4125	2.9114

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de las estadísticas obtenidas a partir de las mediciones del sistema de monitoreo revela un rendimiento robusto y consistente, crucial para la conservación de plaquetas en un banco de sangre.

En primer lugar, la temperatura promedio medida de la sonda se sitúa en 22.2116 °C, un valor que se encuentra dentro del rango óptimo para la preservación de plaquetas. Con una desviación estándar de 0.2421 °C y una varianza de 0.0586 °C, se destaca la estabilidad de las condiciones térmicas, lo que indica una variabilidad mínima en las lecturas. Los valores mínimo y máximo observados son 21.25 °C y 22.75 °C, respectivamente. Esto confirma que la mayoría de las mediciones se concentran en torno a este valor central, lo que respalda la fiabilidad del sistema de control de temperatura.

En cuanto a la corriente evaporador, la media de las mediciones es de 0.4707 A, lo que sugiere un desempeño eficiente en la gestión del calor. La baja desviación estándar de 0.0222 A y una varianza de 0.0005 A indican que las lecturas son consistentes y que el evaporador opera de manera estable. Los valores extremos se encuentran entre 0.3920 A y 0.614 A, lo que demuestra que el evaporador funciona dentro de un rango óptimo.

La corriente del ventilador presenta una media de 0.5707 A, indicando una circulación de aire efectiva. La desviación estándar de 0.0255 A refleja una variabilidad controlada,

asegurando que las mediciones sean fiables. Con una varianza de 0.0007 A, se evidencia que el ventilador mantiene su rendimiento en condiciones estables. Los valores mínimo y máximo observados son 0.5 A y 0.65 A, lo que confirma su capacidad para operar dentro de los parámetros esperados.

Finalmente, la corriente del compresor muestra una media de 2.6229 A, sugiriendo una actividad promedio durante el periodo de medición. La desviación estándar de 0.0661 A indica una variabilidad moderada, lo que podría ser indicativo de fluctuaciones en la carga o la eficiencia del compresor. La varianza de 0.0043 A sugiere una dispersión controlada, aunque más notable en comparación con las otras variables. Los valores mínimo y máximo son 2.4125 A y 2.9114 A, lo que indica que, a pesar de las fluctuaciones, el compresor opera dentro de un rango funcional adecuado.

En síntesis, los resultados obtenidos son cruciales para validar el funcionamiento del sistema de monitoreo, garantizando que se mantengan las condiciones óptimas para el almacenamiento de plaquetas. La estabilidad en las mediciones de temperatura y la fiabilidad de las corrientes de los componentes asociados son esenciales en el entorno crítico de un Banco de Sangre, donde la integridad de los hemocomponentes es vital.

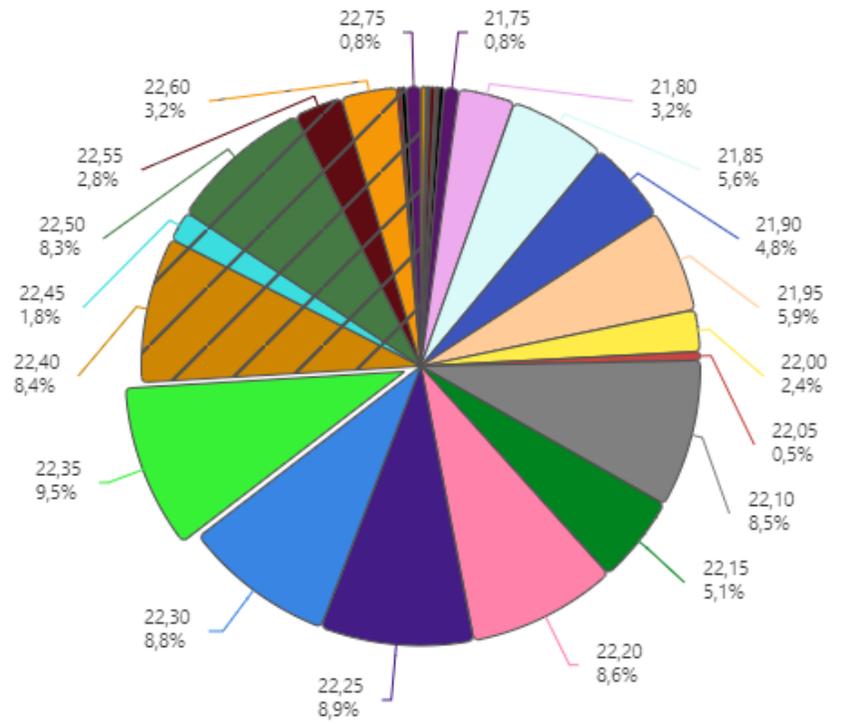


Figura XXV: Gráfica de distribución porcentual en mediciones de temperatura
Fuente: Elaboración propia

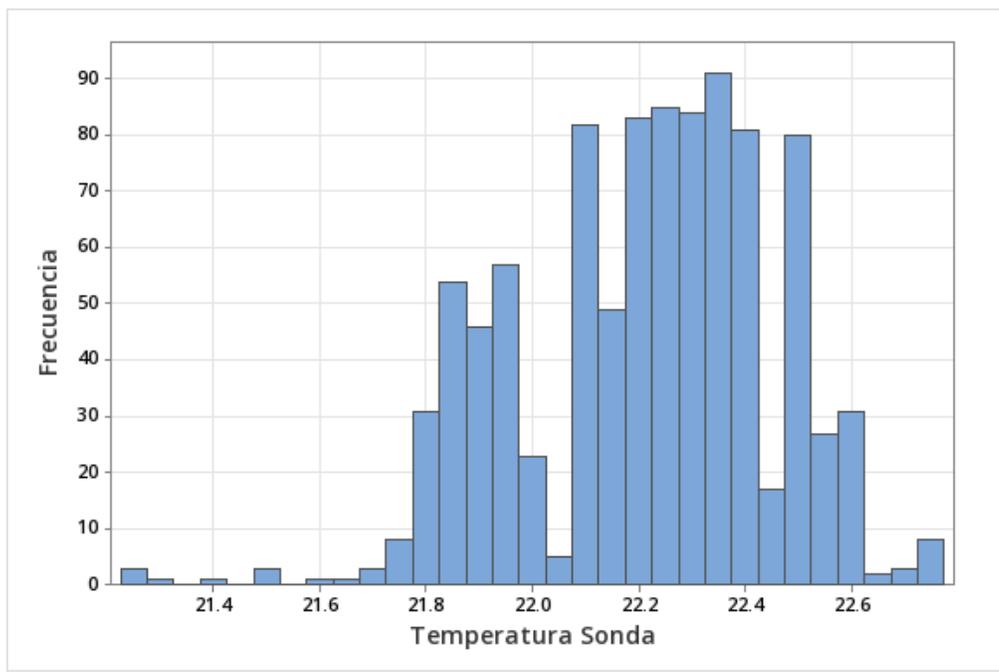


Figura XXVI: Gráfica de distribución de frecuencia en las mediciones de temperatura
Fuente: Elaboración propia

III.V. Interfaz de monitoreo remoto

En esta sección se describe la interfaz de ThingSpeak, una plataforma en línea diseñada para la recopilación, visualización y análisis de datos en tiempo real, especialmente en proyectos de Internet de las Cosas (IoT). ThingSpeak destaca por su interfaz de usuario intuitiva, que permite a los usuarios navegar de manera sencilla entre sus diversas funcionalidades. [61]

Una de las características más destacadas de ThingSpeak es su capacidad para visualizar datos. La plataforma ofrece múltiples opciones, como gráficos en tiempo real, histogramas y mapas, que permiten a los usuarios analizar rápidamente las tendencias y patrones en los datos recopilados. Esto es fundamental para la toma de decisiones informadas, ya que facilita la identificación de comportamientos anómalos o inusuales.

En ThingSpeak, los proyectos se estructuran en canales, que son espacios destinados a la recopilación de datos específicos. Cada canal incluye campos, que representan variables individuales dentro de dicho canal. En este caso, se ha creado un canal dedicado al monitoreo de la incubadora, el cual contiene cuatro campos que reflejan la conectividad con los sensores de corriente y temperatura, y la lectura de éstos.



Figura XXVII: Visualización interfaz de monitoreo desde computadora
Fuente: Interfaz ThingSpeak

Como se ha mencionado anteriormente, ThingSpeak establece un intervalo mínimo de 15 segundos para la actualización de las lecturas de datos. En consecuencia, en la Figura XXVII, cada punto en las gráficas corresponde a una lectura tomada en ese intervalo. Además, esta representación visual permite analizar de manera intuitiva el comportamiento de los cuatro componentes monitoreados, lo cual es esencial para fundamentar futuras decisiones operativas y de mantenimiento. [61]

Otra de las principales ventajas de utilizar esta plataforma es su flexibilidad, ya que permite el acceso y manejo de datos desde una variedad de dispositivos. Además de ser accesible a través de computadoras, ThingSpeak puede ser utilizado en teléfonos inteligentes y tabletas. Esta característica es especialmente importante, ya que ofrece a los usuarios la libertad de monitorear sus datos en tiempo real desde cualquier lugar y en cualquier momento, siempre que cuenten con una conexión a internet.

La capacidad de acceder a la plataforma desde múltiples dispositivos no solo mejora la conveniencia, sino que también facilita la toma de decisiones rápidas. Por ejemplo, un técnico puede revisar las lecturas de los sensores mientras se encuentra en el campo, o un gerente puede supervisar el rendimiento de un sistema desde su oficina o incluso durante un viaje. Esta versatilidad potencia la eficiencia operativa y permite una respuesta más ágil ante cualquier eventualidad que pueda surgir, garantizando así un control efectivo sobre los procesos monitoreados.

Las Figuras XXVIII y XXIX muestran el sistema de monitoreo de la incubadora accesible desde diferentes dispositivos.

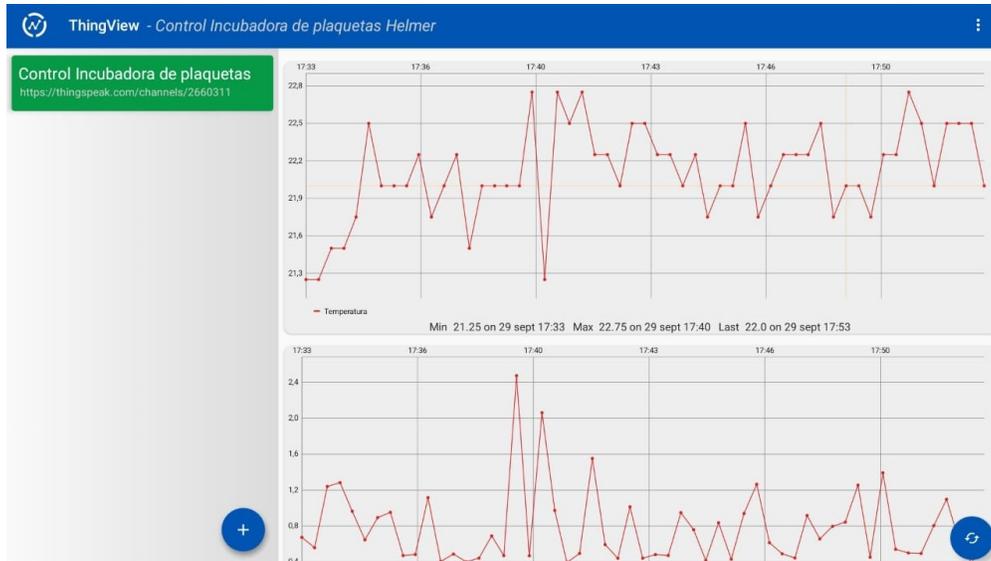


Figura XXVIII: Visualización interfaz de monitoreo remoto desde tableta
Fuente: Interfaz ThingSpeak

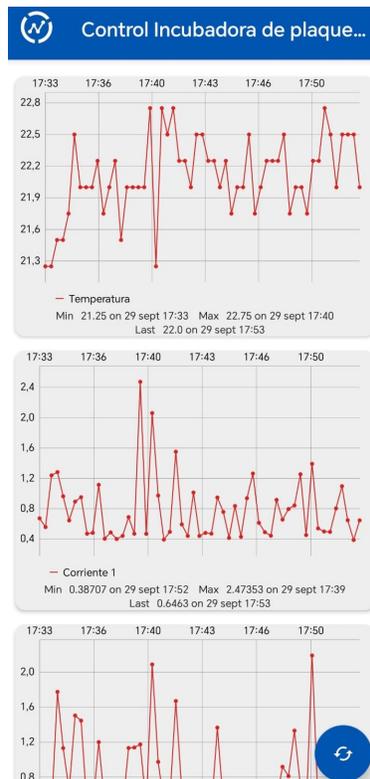


Figura XXIX: Visualización interfaz de monitoreo remoto desde celular
Fuente: Interfaz ThingSpeak

III.VI. Automatización de registros de temperatura

La automatización de los registros de temperatura no solo genera históricos valiosos que respaldan la toma de decisiones informadas, sino que también permite que el personal médico se concentre en sus obligaciones sin tener que interrumpir su trabajo para realizar mediciones manuales de la temperatura de almacenamiento de las plaquetas.

Además, como se mencionó anteriormente, una de las razones para elegir ThingSpeak como plataforma es su capacidad para almacenar automáticamente las mediciones. Esto proporciona una solución centralizada para la gestión de datos. ThingSpeak también permite la descarga de registros en formato CSV, lo que facilita su manipulación e integración en diversas herramientas de análisis de datos o hojas de cálculo. [61]

Esta capacidad no solo conlleva un ahorro significativo de tiempo, sino que también reduce el riesgo de errores en la recopilación de datos, mejorando así la precisión general del sistema.

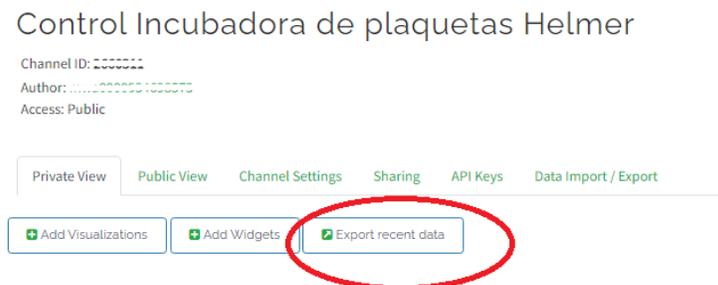


Figura XXX: Localización de descarga de registros de temperatura
Fuente: Interfaz ThingSpeak

A partir de uno de los informes descargados (ver Figura XXXI), se pueden observar las mediciones del sensor de temperatura, las cuales se obtienen en promedio cada 21 segundos. Aunque ThingSpeak permite configuraciones para obtener lecturas cada 15 segundos, el tiempo real de obtención puede variar. Este desfase puede deberse a varios factores, como la estabilidad de la conexión a internet, que puede afectar la velocidad de transmisión de los datos. Además, otros elementos, como el rendimiento de los dispositivos sensores o la carga de trabajo en la plataforma, también pueden influir en la frecuencia de las actualizaciones. Por lo tanto, es importante considerar estos aspectos al analizar las mediciones y para futuras

mejoras.

created_at	entry_id	field1
2024-09-29T23:33:38+00:00	1	21.25000
2024-09-29T23:34:00+00:00	2	21.25000
2024-09-29T23:34:22+00:00	3	21.50000
2024-09-29T23:34:44+00:00	4	21.50000
2024-09-29T23:35:05+00:00	5	21.75000
2024-09-29T23:35:27+00:00	6	22.50000
2024-09-29T23:35:49+00:00	7	22.00000
2024-09-29T23:36:11+00:00	8	22.00000
2024-09-29T23:36:33+00:00	9	22.00000
2024-09-29T23:36:54+00:00	10	22.25000
2024-09-29T23:37:16+00:00	11	21.75000
2024-09-29T23:37:38+00:00	12	22.00000
2024-09-29T23:38:00+00:00	13	22.25000
2024-09-29T23:38:22+00:00	14	21.50000
2024-09-29T23:38:44+00:00	15	22.00000
2024-09-29T23:39:06+00:00	16	22.00000
2024-09-29T23:39:27+00:00	17	22.00000
2024-09-29T23:39:49+00:00	18	22.00000
2024-09-29T23:40:11+00:00	19	22.75000
2024-09-29T23:40:33+00:00	20	21.25000
2024-09-29T23:40:55+00:00	21	22.75000
2024-09-29T23:41:16+00:00	22	22.50000
2024-09-29T23:41:38+00:00	23	22.75000

Figura XXXI: Registros automatizados de mediciones de temperatura
Fuente: Informe de registros automatizados, ThingSpeak

III.VII. Implementación de alertas

Finalmente, las alarmas en el sistema de monitoreo de ThingSpeak se programan utilizando MATLAB, lo que permite automatizar la supervisión de los sensores de manera eficiente. A través de scripts en MATLAB, se definen parámetros clave como el channelID y la alertApiKey, que son necesarios para autenticar las solicitudes de alerta, así como la URL para enviar notificaciones.

En el caso específico del sensor de corriente conectado al compresor, las mediciones de corriente se leen periódicamente desde ThingSpeak. Si no hay datos disponibles, se genera un mensaje que indica la falta de información. En caso de que haya mediciones, se analizan las últimas 20 lecturas para verificar si se encuentran dentro del rango óptimo, establecido entre 2 y 5 A (ver Figura XXXIV).

```

% Alerta corriente de compresor en incubadora de plaquetas Helmer
% Elaborado por Egle Artola Zamora
% Trabajo Final de graduación

channelID = '...',
alertApiKey = '...',
alertUrl = "https://api.thingspeak.com/alerts/send";

options = weboptions("HeaderFields", ["ThingSpeak-API-Key", alertApiKey]);
alertSubject = sprintf("Alerta en incubadora de plaquetas Helmer de Banco de Sangre");

IMedida = thingSpeakRead(channelID, 'NumDays', 50, 'Fields', 4);

if isempty(IMedida)
    alertBody = 'No hay mediciones de corriente';
else
    % Obtener las últimas 20 mediciones
    lastValues = IMedida(end-19:end); % Asegurarse que hayan al menos 20 mediciones

    % Verificar si la corriente está fuera del rango óptimo
    if all(lastValues < 2) || all(lastValues > 5)
        alertBody = sprintf('ALERTA: Corriente compresor fuera del rango óptimo (2-5A). Revisar COMPRESOR 1

        try
            webwrite(alertUrl, "body", alertBody, "subject", alertSubject, options);
            fprintf('Alerta enviada: %s\n', alertBody); % Mensaje de confirmación
        catch someException
            fprintf("Fallo en el envío de alerta: %s\n", someException.message);
        end
    else
        fprintf('Corriente dentro del rango óptimo: %0.1fA\n', lastValues);
    end
end
end

```

Figura XXXII: Programación de alerta para funcionamiento compresor
Fuente: Alertas ThingSpeak

Si alguna de las lecturas se encuentra fuera de este rango, se genera un mensaje de alerta que se envía por correo electrónico a la persona encargada del sistema de monitoreo, utilizando la funcionalidad de alertas de ThingSpeak. Si el envío es exitoso, se muestra una confirmación en el sistema; si ocurre un error, se registra un mensaje de fallo.

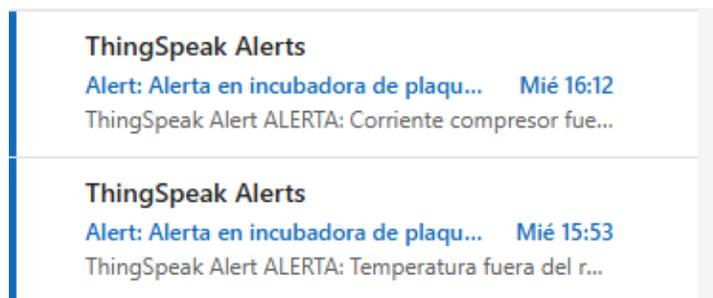


Figura XXXIII: Envío de alertas vía correo electrónico
Fuente: Alertas ThingSpeak



Alert: Alerta en incubadora de plaquetas Helmer de Banco de Sangre

ALERTA: Corriente compresor fuera del rango óptimo (2-5A). Revisar COMPRESOR lo más antes posible

Time: 2024-10-30 22:12:901 :+0000

You are receiving this email because a ThingSpeak Alert was requested using your ThingSpeak Alerts API key. For more information please refer to the [ThingSpeak Alerts Documentation](#).



Figura XXXIV: Cuerpo de alerta de funcionamiento de compresor
Fuente: Alertas ThingSpeak

Cuando las lecturas son adecuadas, se imprime un mensaje que confirma que la corriente se encuentra dentro de los límites establecidos. Este enfoque automatizado no solo mejora la eficiencia del monitoreo, sino que también permite una respuesta rápida ante situaciones que podrían comprometer la calidad de productos sensibles, como las plaquetas en un banco de sangre.

Además, este sistema de monitoreo es una parte fundamental del diagnóstico del equipo, diseñado para informar al personal de mantenimiento o a la persona responsable sobre cualquier anomalía en el funcionamiento de los componentes clave. Su finalidad principal es coordinar una intervención rápida y precisa, lo que no solo ayuda a preservar la integridad de las plaquetas, sino que también optimiza el tiempo de respuesta.

Al recibir alertas específicas sobre qué componente está fallando, el técnico puede actuar de manera eficiente, evitando la necesidad de inspecciones exhaustivas y reduciendo el tiempo de inactividad del equipo. Esto asegura que los productos sensibles se mantengan en condiciones óptimas y contribuye a una gestión más efectiva de los recursos, así como a una

atención más rápida a las necesidades del Banco de Sangre.

Apps / MATLAB Analysis

Click **New** and choose a template to get started. Templates contain sample MATLAB® code for analyzing data.

New

Name	Created
Alerta sonda de control de temperatura	2024-09-30
Alerta control de corriente en compresor	2024-10-29
Alerta control de corriente en ventilador	2024-10-29
Alerta control de corriente en evaporador	2024-10-29

Figura XXXV: Alerta correspondientes al diagnóstico de la incubadora de plaquetas
Fuente: Alertas ThingSpeak

IV. Objetivo específico 4

Elaborar un estudio técnico-financiero para el análisis de la viabilidad de la implementación del sistema de monitoreo por medio de un análisis comparativo con los costos de los hemocomponentes.

IV.I. Análisis de viabilidad financiera del prototipo

Para alcanzar el objetivo propuesto, se desarrollará un presupuesto detallado que contemple la inversión necesaria para el prototipo. Este presupuesto incluirá los costos de los componentes, la mano de obra para la construcción del sistema y la licencia de software requerida para su operación.

El análisis también incluirá una comparación de los costos de inversión con los precios de los hemocomponentes, basándose en el modelo tarifario de la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS). Esta comparación permitirá no solo evaluar la viabilidad financiera del prototipo, sino también destacar el valor agregado que un sistema de monitoreo puede aportar al ámbito médico.

Adicionalmente, se considerarán los costos de otros sistemas de monitoreo similares disponibles en el mercado. Esta evaluación comparativa ayudará a identificar las ventajas y desventajas del prototipo en relación con soluciones existentes, subrayando su relevancia y potencial de implementación.

Es crucial aclarar que el alcance de este análisis se limita a los costos asociados con el desarrollo del prototipo, sin incluir aspectos relacionados con su implementación en un entorno operativo ni el mantenimiento posterior. El enfoque se centrará en detallar y justificar los costos necesarios para la construcción del sistema, proporcionando una evaluación clara de la inversión inicial requerida.

Tabla XIV: Presupuesto de componentes para desarrollo de prototipo

Componente	Precio unitario (\$)	Cantidad	Subtotal (\$)	Impuesto (\$)	Total (\$)
Termocupla tipo K	12.5	1	12.5	1.63	14.13
Protoboard	10.65	3	31.95	4.15	36.10
Pantalla LCD 16x2	7.5	1	7.5	0.98	8.48
Potenci6metro	1.1	1	1.1	0.14	1.24
Jumpers	2.3	1	2.3	0.30	2.60
Cable microUSB	3.5	1	3.5	0.46	3.96
NodeMCU ESP32	10.95	1	10.95	1.42	12.37
LED's	0.55	3	1.65	0.21	1.86
Capacitores 10 uF	0.21	3	0.63	0.08	0.71
Resistencias	0.05	15	0.75	0.10	0.85
M6dulo MAX6675	8.9	1	8.9	1.16	10.06
Sensor corriente SCT 013	18.95	3	56.85	7.39	64.24
Cable 28 AWG	0.34	3	1.02	0.13	1.15
				Subtotal (\$)	139.60
				Impuestos (\$)	18.15
				Total (\$)	157.75

Fuente: MicroJPM, 2024.

A partir de los resultados detallados en la Tabla XIV, se puede concluir que el costo total de los componentes necesarios para el prototipo es de \$157.75. Para convertir este monto a colones, se utiliza el tipo de cambio vigente al 17 de noviembre según el Banco Central de Costa Rica, que se establece en ₡506.21 por dólar. Realizando la conversión, el costo de los componentes es equivalente a ₡79,854.63.

En relación con el costo de las licencias de ThingSpeak, en la Tabla XV, se destacan aspectos clave como el intervalo de actualización de los mensajes, el número de mensajes anuales y la cantidad de canales que ofrece cada licencia. Esta información es de gran relevancia, especialmente considerando que las directrices de la AABB establecen que los hemocomponentes deben ser monitoreados de forma continua e ininterrumpida para garantizar su correcto almacenamiento.

Adicionalmente, en los primeros dos objetivos del proyecto se concluyó que el prototipo está compuesto principalmente por cuatro sensores. Es importante señalar que cada canal de ThingSpeak permite la visualización de hasta ocho campos, lo que significa que, por cada canal, es posible monitorizar hasta ocho sensores. En este contexto, la licencia gratuita ofrece características adecuadas para las necesidades del prototipo, lo que podría ser una opción viable para su posible implementación inicial.

Tabla XV: Comparativa de aspectos técnicos para licencias de ThingSpeak

Tipo de licencia	Intervalo de actualización de mensajes (s)	Número de mensajes (anuales)	No. canales disponibles	Compartir canales privados
Gratuita	15	3 millones	4	3
Estudiante	1	33 millones	10	Ilimitado
Académico	1	33 millones	250	Ilimitado
Hogar	1	33 millones	10	Ilimitado
Estándar	1	33 millones	250	Ilimitado

Fuente: ThingSpeak, 2024.

Tabla XVI: Costo de licencias para ThingSpeak

Tipo de licencia	Precio (\$/año)
Gratuita	0.00
Estudiante	79.00
Académico	275.00
Hogar	95.00
Estándar	740.00

Fuente: ThingSpeak, 2024.

Además de los costos de los componentes y las licencias, la mano de obra representa un aspecto igualmente importante en el análisis financiero del prototipo. La duración total del trabajo realizado fue de aproximadamente 100 horas, abarcando desde la etapa inicial de desarrollo hasta las pruebas de validación finales.

En relación con el costo de la mano de obra, el Comité de Becas y Préstamos Estudiantiles del Instituto Tecnológico de Costa Rica establece que el monto asignado a las horas estudiante varía entre ₡1,500 y ₡2,000 por hora. Este rango se basa en criterios que consideran tanto el esfuerzo como la calidad del trabajo realizado.

Dado el contexto del proyecto y la dedicación requerida para completar las diferentes fases, se ha decidido utilizar un valor promedio de ₡1,750 por hora para el cálculo de la mano de obra. Multiplicando este promedio por las 100 horas trabajadas, se obtiene un costo total de ₡175,000.

A partir de los datos recopilados, se puede calcular el costo total aproximado del sistema de monitoreo propuesto. Sumando el costo de los componentes, que es de ₡79,854.63, el costo de la mano de obra, que asciende a ₡175,000, y considerando que no se han incluido costos adicionales como licencias de software, se obtiene un monto total de ₡254,854.63, lo cual es equivalente a aproximadamente \$502.52 (con el tipo de cambio mencionado previamente). Este valor refleja la inversión necesaria para desarrollar el prototipo, y proporciona una base sólida para evaluar la viabilidad económica del sistema de monitoreo en el ámbito médico.

Tabla XVII: Comparativa entre sistemas de monitoreo

Sistema	Características	Precio aproximado (\$)
Prototipo	Monitoreo en tiempo real. Acceso a través de dispositivos móviles y web. Alertas personalizables por correo. Informes de datos históricos. Opciones de expansión con múltiples sensores	503
Celsius monitoring	Monitoreo en tiempo real. Acceso a través de dispositivos móviles y web. Alarmas personalizables. Informes analíticos.	1500
Honeywell Temperature Monitoring	Monitoreo centralizado. Integración con sistemas de gestión de edificios. Alertas en tiempo real. Informes de datos históricos.	1000
Monnit ALTA	Sensores inalámbricos de largo alcance. Alertas por correo electrónico y SMS. Plataforma en la nube para análisis de datos.	800

Fuente: Elaboración propia

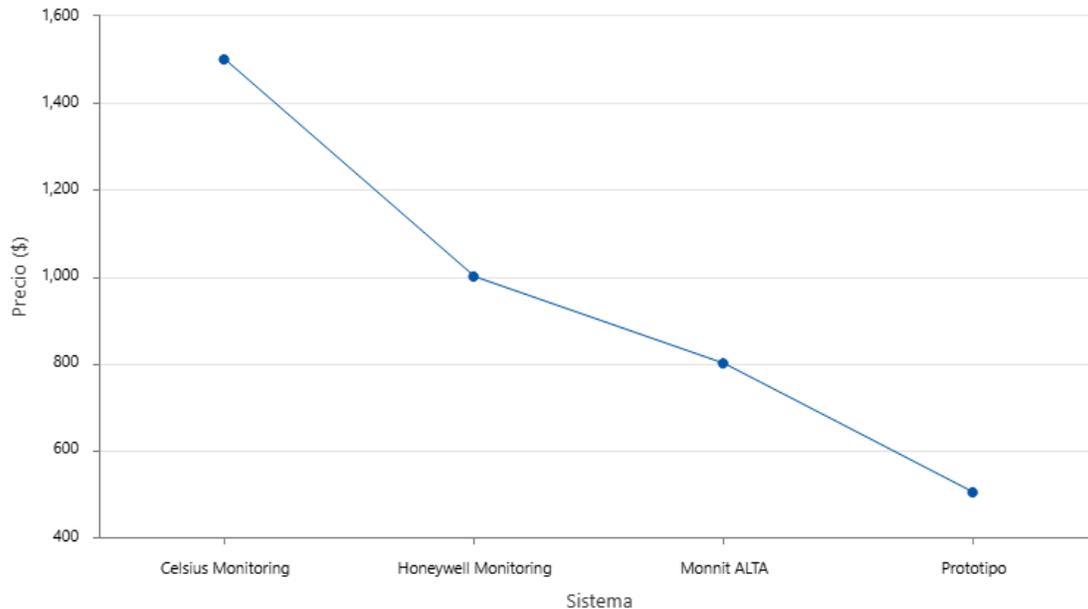


Figura XXXVI: Gráfico comparativo de montos entre sistemas de monitoreo

Fuente:Elaboración propia

En la Tabla XVII se muestra que el prototipo tiene un costo de \$503 aproximadamente. Además, cuenta con funcionalidades esenciales como monitoreo en tiempo real, acceso móvil, alertas personalizables e informes históricos, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren vigilancia continua. En contraste, el sistema Celsius Monitoring, con un precio de \$1,500, podría limitar su adopción a pesar de ofrecer características similares. Honeywell, a \$1,000, destaca por su monitoreo centralizado e integración con sistemas de gestión, mientras que Monnit ALTA, que cuesta \$800, proporciona sensores inalámbricos y alertas por SMS, pero carece de una interfaz intuitiva para la visualización de datos. Por lo tanto, el prototipo, diseñado de forma personalizada, se adapta mejor a las necesidades del proyecto y es la opción más económica en comparación con los demás sistemas que cuentan con funciones similares a un precio más elevado.

Tabla XVIII: Costos hemocomponentes por equipo

Equipo	Capacidad (unidades)	Costo por unidad (₡)	Pérdida por equipo (₡)
Incubadora	48	211,682.50	10,160,760.00
Congelador	360	222,987.50	80,275,500.00
Refrigerador	165	211,270.00	34,859,550.00

Fuente: Modelo tarifario CCSS, 2024.

De acuerdo con los datos del Modelo Tarifario de la CCSS para el segundo semestre de 2024, se establece que cada unidad de 450 mL, ya sea de plaquetas, glóbulos rojos o plasma, tiene un costo superior a ₡200,000 (ver Tabla XVIII). A partir de esta información, junto con los manuales del fabricante de los equipos y los registros de mantenimiento, se lleva a cabo un análisis para calcular la pérdida monetaria potencial si no se monitorea adecuadamente la temperatura de almacenamiento de los hemocomponentes, asumiendo que los equipos operan a su máxima capacidad de unidades. Cabe destacar que por cada intervención electromecánica que se le realice a los equipos, se ponen en riesgo todas las unidades almacenadas, por lo cual es de vital importancia su monitoreo continuo. [13]

En el caso específico de la incubadora de plaquetas, cada unidad tiene un costo de

¢211,682.50. Dado que el equipo puede almacenar hasta 48 unidades, la pérdida total potencial por una intervención en el equipo asciende a ¢10,160,760.00. [13]

Al comparar este monto con el costo del sistema de monitoreo, que es de ¢254,854.63, se determina que la inversión en el sistema representa aproximadamente el 2.51% de la pérdida total potencial de unidades de plaquetas. Este porcentaje es significativo, ya que indica que el costo del sistema de monitoreo es relativamente bajo en comparación con el considerable valor de la pérdida que podría ocurrir si no se mantiene un monitoreo adecuado de la temperatura de almacenamiento de las plaquetas.

Por lo tanto, se concluye que la inversión en el sistema de monitoreo es muy baja en relación con la seguridad que ofrece para la preservación de las unidades de plaquetas. Esta relación favorable entre costo y beneficio resalta la importancia del sistema, lo que a su vez confirma su viabilidad como una solución efectiva para garantizar la calidad y la seguridad de los hemocomponentes.

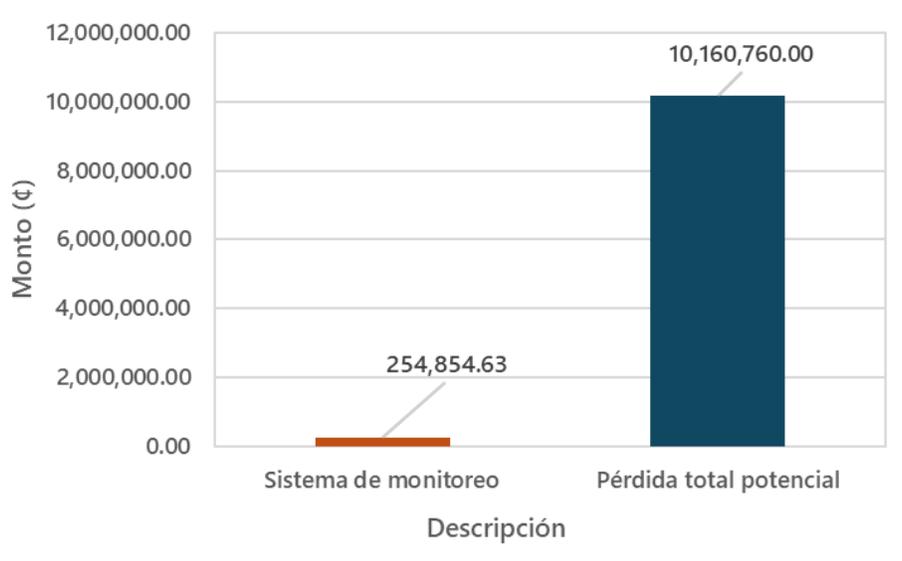


Figura XXXVII: Gráfico de visualización de montos asociados al proyecto
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

1. Se destacó la necesidad de atención urgente a componentes como: las sondas de control de temperatura, ventiladores y compresores, que presentan altos Números de Prioridad de Riesgo (NPR), esto mediante la aplicación del Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE).
2. Se priorizó el monitoreo de las sondas, aunque también se incluyó el seguimiento de las corrientes del compresor, ventilador y evaporador como parte del diagnóstico. Se eligió el NodeMCU ESP32 como microcontrolador, el sensor SCT 013 para medir corriente y la termocupla tipo K para medir la temperatura.
3. Se demostró la fiabilidad del sistema de monitoreo, respaldada por análisis estadístico. Además, se eligió ThingSpeak como interfaz para la visualización de datos y el análisis de tendencias, permitiendo descargar informes de temperatura y configurar alertas vía correo electrónico ante comportamientos anómalos de los sensores.
4. Se evidenció la viabilidad financiera del proyecto, con una inversión de aproximadamente ₡254,854.63, que representa solo el 2.51 % de las posibles pérdidas de plaquetas, estimadas en ₡10,160,760.00.

Recomendaciones

1. Implementar un sistema de monitoreo para gestionar de manera efectiva los costos de mantenimiento correctivo a la incubadora de plaquetas, los cuales alcanzaron aproximadamente C\$171,303.00 en 2022-2023. Este sistema proporcionaría alertas sobre condiciones anómalas, facilitando intervenciones proactivas, asegurando la calidad de los hemocomponentes almacenados y minimizando las pérdidas financieras. [22] [14]
2. Desarrollar un programa de mantenimiento preventivo, especialmente para los ventiladores y evaporadores de condensado de la incubadora, el refrigerador y el congelador. Las fallas eléctricas y las obstrucciones por suciedad son problemas comunes que pueden evitarse con un mantenimiento adecuado.
3. Reemplazar la incubadora de plaquetas, que ha superado su vida útil por 9 años, por un modelo moderno y eficiente. Entre las opciones disponibles, destacan el Helmer PC900 Pro por \$4,000 USD, y alternativas más económicas como la Boekel Scientific por \$3,500 USD, la KDC de Kaida por \$2,600 USD, y el BJPX-SP10 de BioBase por \$1,800 USD, todas con garantía y soporte técnico. Esta inversión incrementaría la confiabilidad del sistema y garantizaría la seguridad de las plaquetas.

Bibliografía

- [1] AI Thinker. *NodeMCU-32S Product Specification*, 2019.
- [2] American Society for Quality (ASQ). *Lean Six Sigma: A Guide for Practitioners*, 2010.
- [3] Association for the Advancement of Blood & Biotherapies (AABB). *Standards for Blood Banks and Transfusion Services*, 2020.
- [4] Association for the Advancement of Blood & Biotherapies (AABB), *Technical Manual*, 2023.
- [5] Arduino. *Arduino Uno Rev3 Documentation*, 2023.
- [6] A. Cuevas, A. Rodríguez. *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto para contenedores refrigerados en la empresa COLDCONTAINERS SAS*, Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2021.
- [7] Biobase Biolin Co., Ltd. *Agitador De Plaquetas, Incubadora De 250L Con Capas*, 2022.
- [8] Boekel Scientific. *Boekel Scientific Large Platelet Incubator and Agitator*, 2022.
- [9] C. Silva. *Sensors and Actuators: Engineering System Instrumentation*. CRC Press, 2015.
- [10] C. Marmojelo, S. Bisbicuth, J. Quevedo. *Desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo de temperatura y humedad relativa en los cuartos fríos y vitrinas refrigeradas para la empresa Panadería - Pastelería la Leal - Palmira*, Tesis de grado, Institución Universitaria Antonio José Camacho, Cali, Colombia, 2021.
- [11] Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS). *Auditoría Interna AS-AATIC-072-2022*, 2022.
- [12] Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS). *Lineamiento para la Selección de Donantes de Sangre y Hemocomponentes*, 2021.
- [13] Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS). *Modelo tarifario*, 2024.

- [14] Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS). *Registros del índice salarial*, 2024.
- [15] CoAP. *Constrained Application Protocol (CoAP)*, 2024.
- [16] D.H. Stamatis *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQC Quality Press, 2003.
- [17] D. Pérez. *4 fundamentos del Internet de las cosas (IoT)*. Publicado por CEUPE, 2024.
- [18] ESIC Business & Marketing School. *Procesamiento de la información en IoT: La inteligencia distribuida como clave de las plataformas IoT*. 2021.
- [19] European Union. *Good Practice Guideline for Blood Establishment Required to Comply with Directive 2005/62/EC*, 2018.
- [20] H. Acarapi. *Diseño y construcción de un sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa en tiempo real a través de internet*, Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2019.
- [21] Hospital de San Carlos. *Registros estadísticos de donaciones registradas*, 2024.
- [22] Hospital de San Carlos. *Registros del Sistema de Operación, Control y Mantenimiento*, 2024.
- [23] Helmer Scientific. *Manual de usuario para la incubadora de plaquetas PC900h*, 2008.
- [24] Helmer Scientific. *Ficha técnica para la incubadora de plaquetas PC900h*, 2016.
- [25] Helmer Scientific. *Manual de usuario para congelador de plasma fresco y crioprecipitados IPF120*, 2016.
- [26] Helmer Scientific. *Ficha técnica para congelador de plasma fresco y crioprecipitados IPF120*, 2020.
- [27] Helmer Scientific. *Manual de usuario para refrigerador de banco de sangre IB111*, 2016.
- [28] Helmer Scientific. *Ficha técnica para refrigerador de banco de sangre IB111*, 2016.

- [29] Helmer Scientific. *Technical Data Sheet: High-Performance, Platelet Incubator, Model: PC900-Pro*, 2020.
- [30] Hospital de San Carlos. *Registros de temperaturas en los equipos de hemocomponentes*, 2024.
- [31] Hunan Kaida Scientific Instruments Co., Ltd. *Banco De Sangre, Sensor De Alta Precisión, Pantalla Led, Incubadora De Plaquetas*, 2022.
- [32] IBM. *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?*, 2024.
- [33] J. Champi. *Implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico mediante Internet de las cosas para monitorear la conservación en la cadena de frío de vacunas del servicio de inmunizaciones en el distrito de Puente Piedra*, Tesis de grado, Universidad de Ciencias y Humanidades, Lima, Perú, 2023.
- [34] J. Alfaro. *La Caja está en crisis: el seguro de salud empieza a consumir sus reservas en 2023 y sería insostenible en tres años*, El Financiero, Costa Rica, 2023.
- [35] J. Molina. *La importancia de la gestión de riesgos y seguridad en el internet de las cosas*, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019.
- [36] J. McCullough, C. Hillyer, *Transfusion Medicine and Hemostasis: Clinical and Laboratory Aspects*, Elsevier, 2016.
- [37] ManageEngine. *Software de monitoreo de hardware / Herramienta de monitoreo de hardware*, 2023.
- [38] Maxim Integrated. *MAX6675: Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*, 2024.
- [39] M. Cordero. *Estados financieros del Seguro de Salud de la CCS muestran un superavit y no una quiebra*, Semanario Universidad, Costa Rica, 2023.
- [40] Ministerio de Hacienda. *Ley de Presupuesto Nacional*, 2023.
- [41] MicroJPM. *Cotización de componentes*, 2024.

- [42] Microsoft Ignite. *Resumen de la arquitectura de IoT*. Microsoft Learn, 2023.
- [43] M. Ramírez, P. López, J. Mendoza. *Smart device development for cold chain control in biological materials*, Universidad Politécnica del Bicentenario, Guanajuato, México, 2020.
- [44] MOKOSmart. *Tipos de sensores en IoT*, 2023.
- [45] MQTT. *MQTT: The Standard for IoT Messaging*, 2024.
- [46] Organización Mundial de la Salud. *Buenas prácticas para laboratorios de control de calidad de productos farmacéuticos*, 2010.
- [47] Organización Mundial de la Salud. *Directrices de la OMS sobre gestión de la sangre y los componentes sanguíneos como medicamentos esenciales*, 2021
- [48] Organización Mundial de la Salud. *El Uso Clínico de la Sangre*, 2001.
- [49] Organización Mundial de la Salud. *Manual de bioseguridad en el laboratorio*, 2023.
- [50] Organización Mundial de la Salud. *La necesidad urgente de poner en práctica la gestión de la sangre del paciente*, 2022.
- [51] Organización Panamericana de la Salud. *OPS hace un llamado a incrementar las donaciones de sangre y plasma para crear un suministro seguro y sostenible*, 2023.
- [52] P. Heng, C. Liew. *Relative Humidity Cycling: Implications on the Stability of Moisture-Sensitive Drugs in Solid Pharmaceutical Products*, American Chemical Society, Molecular Pharmaceutics pp. 1543-8384, Singapore, 2023.
- [53] Progressa Lean. *Análisis modal de fallos y efectos*, 2020.
- [54] Programa de las Naciones Unidas. *Objetivo Desarrollo Sostenible 3: Salud y Bienestar*, 2024.
- [55] Programa de las Naciones Unidas. *Objetivo Desarrollo Sostenible 9: Industria, Innovación e Infraestructura*, 2024.

- [56] R. Radha, D. Sreekanth. *Cryopreservation of biological samples – A short review*, Materials Today: Proceedings, Volume 51, Part 3, pp. 1637-1641, 2022.
- [57] RSP. *Termopares: Guía de selección*, 2020
- [58] Sinda Thermal Technology Limited. *Descripción general de los sistemas de enfriamiento en equipos médicos*, 2022.
- [59] Storti, M. *Notas de Algoritmos y Estructuras de Datos*. Centro de Investigación en Métodos Computacionales, 2021.
- [60] TinyTronics. *SCT-013-000 Datasheet*, 2024.
- [61] ThingSpeak. *ThingSpeak: An IoT Analytics Platform*, 2024.
- [62] WNPow. *¿Cuál es la diferencia entre HTTP y HTTPS?*, 2024.
- [63] World Health Organization (WHO). *Blood safety and availability*, 2023.
- [64] World Health Organization (WHO). *Manual on the management, maintenance and use of blood cold chain equipment*, 2005.
- [65] World Health Organization (WHO). *Quality Systems for Blood Transfusion Services*, 2012.

Apéndices

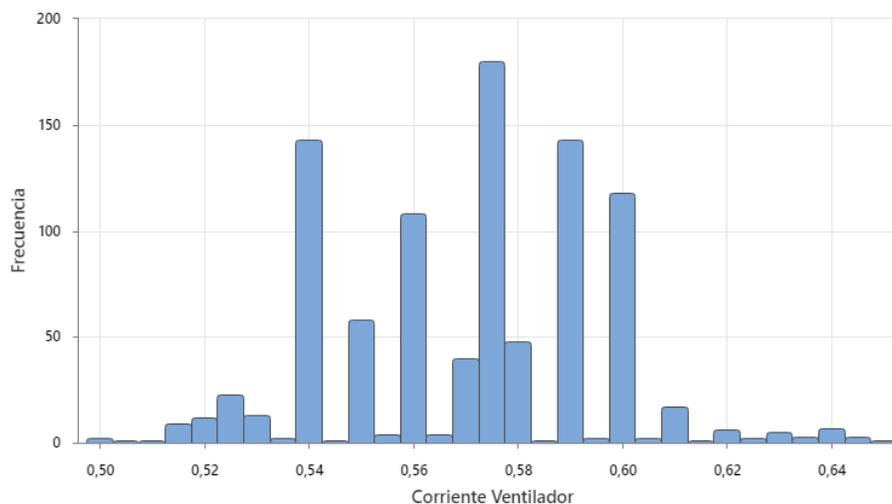


Figura XXXVIII: Frecuencia de mediciones de la corriente del ventilador
Fuente: Elaboración propia

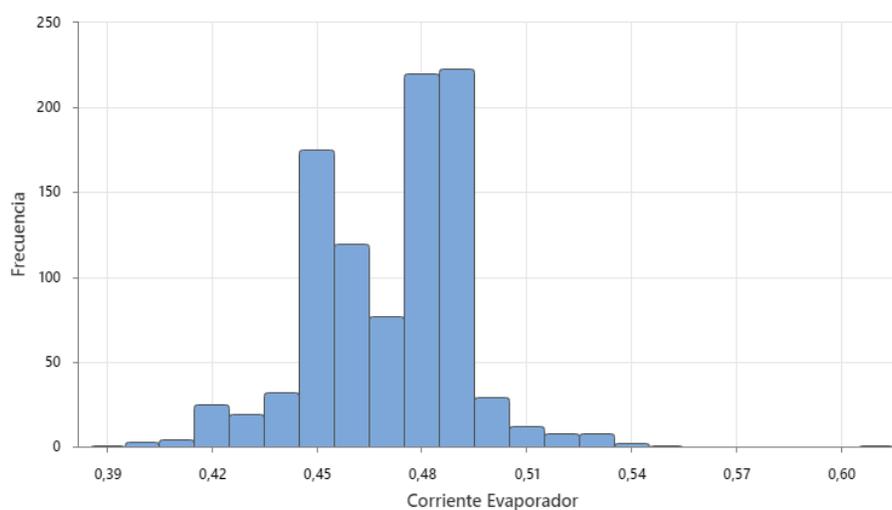


Figura XXXIX: Frecuencia de mediciones de la corriente del evaporador
Fuente: Elaboración propia

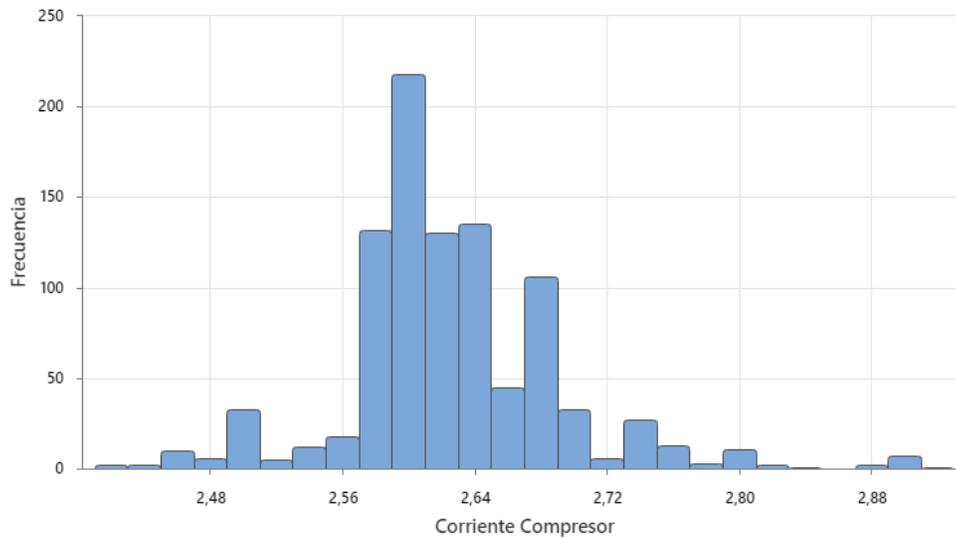


Figura XL: Frecuencia de mediciones de la corriente del compresor
Fuente: Elaboración propia

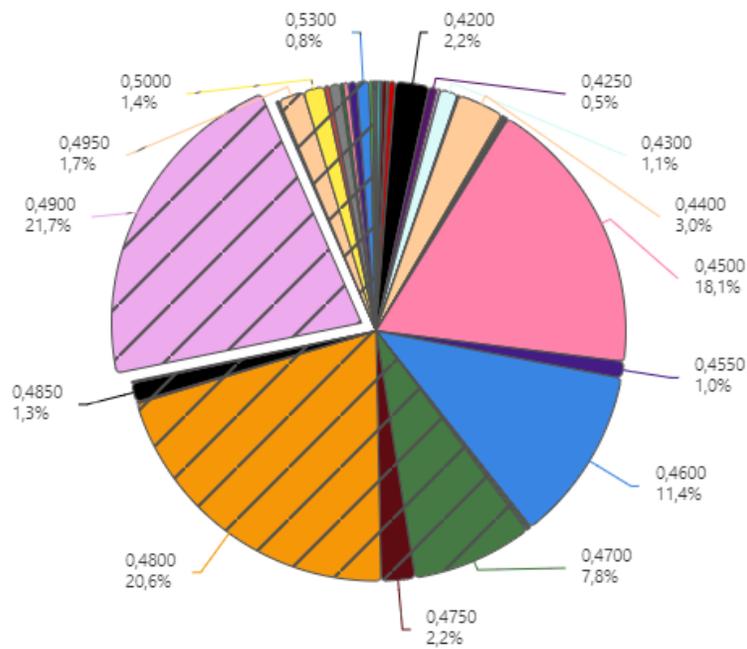


Figura XLI: Gráfica de distribución porcentual en mediciones de corriente del evaporador
Fuente: Elaboración propia

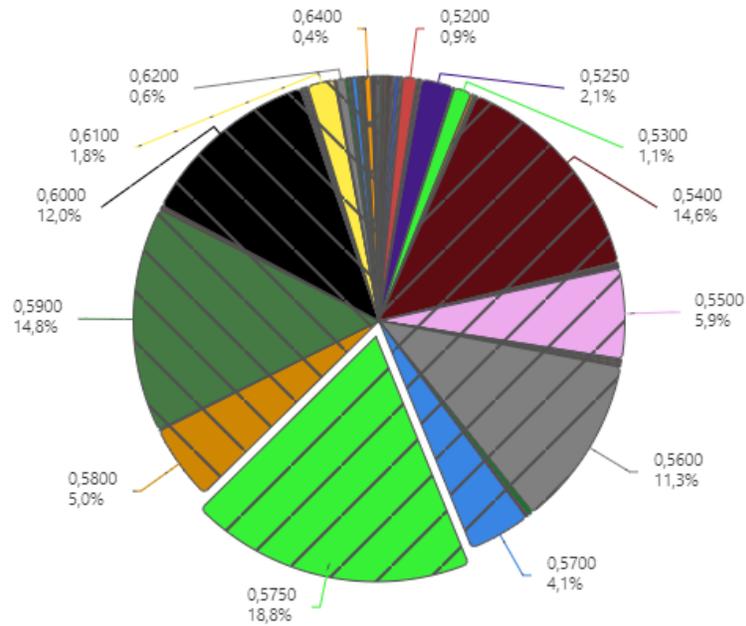


Figura XLII: Gráfica de distribución porcentual en mediciones de corriente del ventilador
Fuente: Elaboración propia

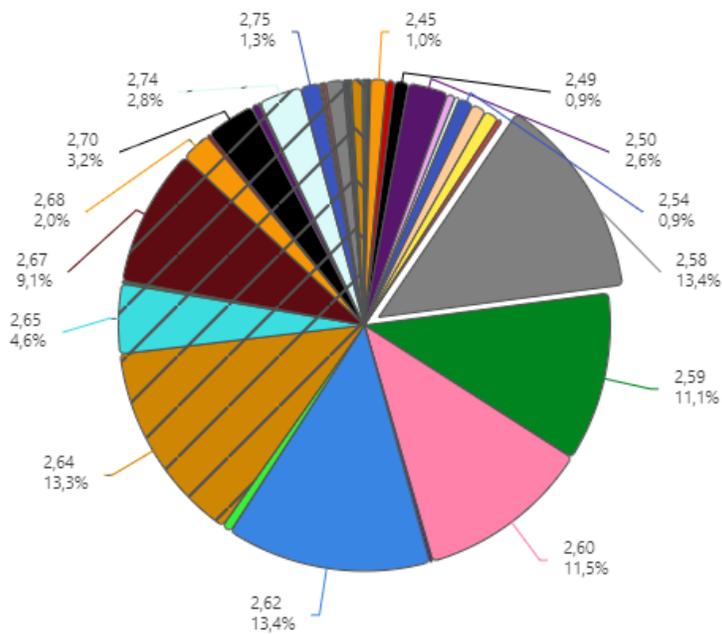


Figura XLIII: Gráfica de distribución porcentual en mediciones de corriente del compresor
Fuente: Elaboración propia

```

if isempty(TemperaturaMedida)
    alertBody = 'No hay mediciones de temperatura';
else
    lastValues = TemperaturaMedida(end-19:end);

    % Verificar si la temperatura está fuera del rango óptimo
    if all(lastValues < 20) || all(lastValues > 24)
        alertBody = sprintf('ALERTA: Temperatura fuera del rango óptimo (20-24°C): %0.1f°C. Revisar SONE

    try
        webwrite(alertUrl, "body", alertBody, "subject", alertSubject, options);
        fprintf('Alerta enviada: %s\n', alertBody); % Mensaje de confirmación
    catch someException
        fprintf("Fallo en el envío de alerta: %s\n", someException.message);
    end
else
    fprintf('Temperatura dentro del rango óptimo: %0.1f°C\n', lastValue);
end
end
end

```

Figura XLIV: Alerta de funcionamiento sonda de control de temperatura
Fuente: Elaboración propia

```

Programacion
// Configuración de la pantalla LCD
LiquidCrystal lcd(23, 22, 17, 21, 4, 2);

// Variables para LEDs
int PinRojo = 12; // Puerto digital para LED
int PinVerde = 13; // Puerto digital para LED
int PinAmarillo = 15; // Puerto digital para LED

// Configuración de EmonLib
EnergyMonitor emon1; // Sensor de corriente 1
EnergyMonitor emon2; // Sensor de corriente 2
EnergyMonitor emon3; // Sensor de corriente 3
const float CALIBRACION_CORRIENTE_1 = 14.83; //
const float CALIBRACION_CORRIENTE_2 = 15; // Fa
const float CALIBRACION_CORRIENTE_3 = 28.7; //

//float calibracion = -7.0; // Ajuste de calibracion

void setup() {

    pinMode(12, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
    pinMode(15, OUTPUT);

    digitalWrite(12, HIGH);
    digitalWrite(13, HIGH);
    digitalWrite(15, HIGH);

    Serial.begin(9600);

    Serial.println("Inicio de programa");

    Serial.println("Temperatura: 22.25");
    Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 0.7579");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.4914");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.3817");
    Serial.println("Temperatura: 22.00");
    Serial.println("Error al enviar datos a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 0.5498");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.4471");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.3680");
    Serial.println("Temperatura: 21.75");
    Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 0.4152");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.4735");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.3841");
    Serial.println("Temperatura: 22.25");
    Serial.println("Error al enviar datos a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 1.2564");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.4312");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.4466");
    Serial.println("Temperatura: 22.00");
    Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 0.8358");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.5243");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.3737");
    Serial.println("Temperatura: 22.00");
    Serial.println("Error al enviar datos a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 0.5025");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.4632");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.3393");
    Serial.println("Temperatura: 22.00");
    Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak");
    Serial.println("Corriente RMS 1: 0.4296");
    Serial.println("Corriente RMS 2: 0.4648");
    Serial.println("Corriente RMS 3: 2.3939");
    Serial.println("Temperatura: 22.25");
    Serial.println("Error al enviar datos a ThingSpeak");

}

void loop() {

    float temperatura = lcd.readTemperature();
    float cor1 = emon1.getRMS();
    float cor2 = emon2.getRMS();
    float cor3 = emon3.getRMS();

    Serial.println(temperatura);
    Serial.println(cor1);
    Serial.println(cor2);
    Serial.println(cor3);

    delay(1000);
}

```

Figura XLV: Pruebas de funcionamiento de código de programación
Fuente: Elaboración propia



Alert: Alerta en incubadora de plaquetas Helmer de Banco de Sangre

ALERTA: Temperatura fuera del rango óptimo (20-24°C). Revisar SONDA DE CONTROL DE TEMPERATURA lo más antes posible

Time: 2024-10-31 20-11-590 :+0000

You are receiving this email because a ThingSpeak Alert was requested using your ThingSpeak Alerts API key. For more information please refer to the [ThingSpeak Alerts Documentation](#).



Figura XLVI: Cuerpo de alerta de funcionamiento de sonda de temperatura
Fuente: Alertas ThingSpeak



Figura XLVII: Datos de placa de incubadora de plaquetas Helmer
Fuente: Elaboración propia

Anexos

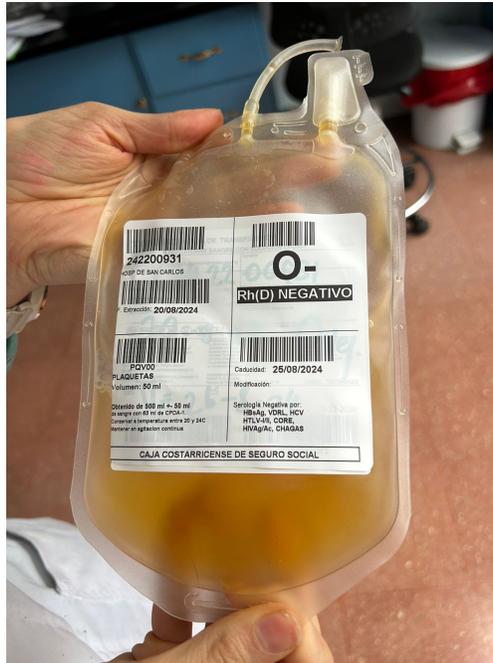


Figura XLVIII: Unidad de plaquetas
Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2024



Figura XLIX: Unidad de glóbulos rojos
Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2024



Figura L: Unidad de plasma congelado
 Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2024

BB DRA. ANDREA RODRIGUEZ DIAZ - HOSP DE SAN CARLOS

Donantes Laboratorio Procesado Almacén Distribución Pacientes Listados Estadísticas Salir

UNIDADES DISPONIBLES
 HOSP DE SAN CARLOS

	A+	A-	B+	B-	O+	O-	AB+	AB-	TOTAL
GLOBULOS ROJOS EMPACADOS	24	4	10	0	31	11	0	0	80
PLAQUETAS	8	0	0	0	10	3	0	0	21
PLASMA FRESCO CONGELADO	17	5	13	8	22	8	23	1	97
CRIOPRECIPITADOS	29	3	5	1	66	6	0	0	110

Figura LI: Unidades de hemocomponentes disponibles al 22 Agosto
 Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2024

HOSPITAL SAN CARLOS
 LABORATORIO CLÍNICO
 BANCO DE SANGRE
 CONTROL INTERNO DE CALIDAD DE EQUIPOS

REFRIGERADOR PARA SANGRE: HELMER

PLACA: 968126

MES/AÑO: Diciembre 2023

RANGO DE TEMPERATURA (°C): 2-6 °C

Día	TEMPERATURA °C/RESPONSABLE					
	I TURNO	RESPONS.	II TURNO	RESPONS.	III TURNO	RESPONS.
1	3,4	IGNI	3,7	ALB	3,4	Soto
2	3,2	LAB	3,8	LAB	4,0	LAB
3	4,0	KAS	3,9	Soto	3,9	Soto
4	3,7	AVD	3,7	Soto	4,0	KAS
5	4,1	LAB	3,9	MV	3,6	KAS
6	3,9	AVD	4,0	MV	4,1	KAS
7	3,3	FBS	4,0	Vr	3,3	KAS
8	4,0	AVD	4,2	Vr	3,8	Vr
9	4,0	Vr	3,8	Vr	3,8	Vr
10	4,0	LAB	3,9	LAB	3,9	LAB
11	4,1	AVD	3,2	Vr	3,7	Soto
12	4,0	AVD	3,2	Vr	3,3	Soto
13	4,0	AVD	4,0	Vr	3,9	Soto
14	4,0	AVD	3,2	Vr	3,8	Soto
15	3,7	AVD	3,4	Vr	4,0	Soto
16	3,5	FBS	3,2	FBS		
17	3,9	MRC	3,7	MRC	3,7	MRC
18	3,4	Soto	3,4	Vr	4,1	KAS
19	4,1	FBS	3,2	Vr	3,9	KAS
20	3,7	Soto	4,0	Vr	4,0	AAA
21	3,7	Soto	4,0	Vr	3,8	AAA
22	3,8	Soto	4,0	Vr	4,1	AAA
23	4,1	LAB	3,6	MRC	3,3	Vr
24	4,2	LAB			3,4	MRC
25					3,4	MRC
26	3,3	Soto	3,1	Vr	3,6	KAS
27	3,8	Soto	4,0	Vr	3,3	KAS
28	4,0	Soto	3,9	AAA	3,7	KAS
29	3,7	Soto	4,2	AAA	3,4	KAS
30	3,9	Soto	3,8	Soto	3,6	MRC
31	4,0	FBS	3,3	FBS	3,8	AAA

Elaborado por: Dra. Andrea Rodríguez.

Figura LII: Registros de temperatura para refrigerador de sangre
 Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2023

HOSPITAL SAN CARLOS
LABORATORIO CLÍNICO
BANCO DE SANGRE
CONTROL INTERNO DE CALIDAD DE EQUIPOS

BANCO DE PLASMA: HELMER

PLACA: 1306713CCSS

MES/AÑO: Abril 2023

RANGO DE TEMPERATURA (°C): -24,4 a -30,3 °C

Día	TEMPERATURA °C			RESPONSABLE		
	6:00	14:00	22:00	I	II	III
1	-30,3	-30,3	-30,3	MRC	MRC	JVL
2	-30,1	-30,1	-30,3	KLS	KLS	KLS
3	-30,1	-30,3	-30,2	AMW	MCG	KLS
4	-	-30,2	-30,0		MCG	KLS
5	-30,1	-30,0	-29,9	AMW	MCG	FBS
6	-30,0	-29,0	-29,0	KLS	WV	WV
7	-30,0	-30,2	-30,1	AMW	FBS	RCA
8	-30,2	-30,0	-29,9	JSC	KLS	JSC
9	-30,1	-30,0	-30,0	MCG	MCG	MCG
10	-30,1	-30,1	-30,0	WV	WV	MRC
11	-30,0	-30,1	-30,0	JSC	AcH	MRC
12	-29,9	-29,9	-29,9	AMW	AcH	MCG
13	-30,0	-30,0	-30,0	AMW	AcH	MCG
14	-29,9	-29,9	-30,0	AMW	AcH	MCG
15	-29,9	-29,9	-	AMW	MRC	
16	30,0	29,8	-30,0	LBS	LBS	AcH
17	-30,0	-29,9	-	AMW	AcH	
18	-30,0	-29,7	-	AMW	AcH	
19	-29,8	-29,7	-29,9	AMW	AcH	MRC
20	-29,8	-29,9	-29,2	AMW	AcH	MRC
21	-30,0	-30,0	-30,0	AMW	AcH	MRC
22	-30,0	-30,0	-29,8	KLS	KLS	KLS
23	-30,0	-29,0	-30,0	AMW	AcH	#
24	-30,0	-30,0	-30,0	AMW	AcH	MRC
25	-3	-29,8	-30,0		AcH	MRC
26	-30,0	-29,9	-29,7	AMW	AcH	MRC
27	-30,0	-30,0	-30,0	AMW	AcH	MCG
28	-30,0	-29,9	-30,0	AMW	AcH	Alce
29	-30,0	-30,1	-29,9	WV	WV	MCG
30	-30,0	-30,1	-30,0	AcH	AcH	JSC
31						

Elaborado por: Dra. Andrea Rodríguez.

Figura LIII: Registros de temperatura para congelador de plasma
Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2023

PITAL SAN CARLOS
ORATORIO CLÍNICO
ICO DE SANGRE
ITROL INTERNO DE CALIDAD DE EQUIPOS

UBADORA DE PLAQUETAS: HELMER

PLACA: 680333

S/AÑO: Agosto 2023

RANGO DE TEMPERATURA (°C): 19-24 °C

Día	TEMPERATURA °C	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
1			
2	21,9	AWD	
3	22,0	AWD	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22	21,9	AWD	
23	21,9	AWD	
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

aborado por: Dra. Andrea Rodríguez.

Figura LIV: Registros de temperatura para incubadora de plaquetas
Fuente: Banco de Sangre de Hospital de San Carlos, 2023

Orden:	44552023	Estado	FINALIZADO Y APROBADO
Unidad Ejecutora:	HOSPITAL DE SAN CARLOS		
Categoría de Servicio:	EQUIPOS COMPLEJIDAD A	Tipo de Orden de Trabajo:	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Edificio o Servicio:	LABORATORIO CLINICO	SubServicio:	LABORATORIO
Solicitante:	XXXXXXXXXX	Autoriza:	XXXXXXXXXX
Lugar de Trabajo:	LABORATORIO CENTRAL	Teléfono o Extensión:	1255
Ubicación:	BANCO SANGRE		
Descripción del Trabajo:	EL TERMOMETRO DE CONTROL REPORTA BAJA TEMPERATURA, URGE CORREGIR A 21-25 GRAODS PARA QUE NO SE DAÑEN LAS PLAQUETAS PARA TRANSFUSIÓN Activo: INCUBADORA PLAQUETAS,HELMER PC900H SR.970560		
Placa:	680333	Fecha de Emisión:	07/06/2023
Taller Encargado:	TALLER EQUIPO MEDICO		
Fecha de Inicio del Trabajo:	08/06/2023	Fecha de Finalización del Trabajo:	08/06/2023

Figura LV: Reporte mantenimiento en incubadora de plaquetas
Fuente: Departamento Mantenimiento, 2023



Orden:	75162021	Estado	FINALIZADO Y APROBADO
Unidad Ejecutora:	HOSPITAL DE SAN CARLOS		
Categoría de Servicio:	EQUIPO MÉDICO	Tipo de Orden de Trabajo:	MANTENIMIENTO PREVENTIVO
Edificio o Servicio:	MANTENIMIENTO	SubServicio:	TALLER EQUIPO MEDICO
Solicitante:	XXXXXXXXXX	Autoriza:	XXXXXXXXXX
Lugar de Trabajo:	HOSPITALIZACION	Teléfono o Extensión:	1232
Ubicación:	AREAS DE HOSPITALIZACION		
Descripción del Trabajo:	SUPERVISION MANTENIMIENTO PRVENTIVO A LA EMPRESA TRI DM. Activo: CONGELADOR PARA ALMACENAR PLASMA Y CRIOPRECIPITADOS, MARCA: HELMER, MODELO: IPF120, SERIE: 2069193		
Placa:	1306713	Fecha de Emisión:	11/11/2021
Taller Encargado:	TALLER EQUIPO MEDICO		
Fecha de Inicio del Trabajo:	11/11/2021	Fecha de Finalización del Trabajo:	17/11/2021
Observaciones:	Se realiza supervisión compañero de la empresa TRI DM Ricardo Chaves. Equipo en buenas condiciones se realiza limpieza, revisión general y pruebas de funcionamiento.		

Figura LVI: Reporte mantenimiento en congelador de plasma
Fuente: Departamento Mantenimiento, 2021

Orden:	15392017	Estado	FINALIZADO Y APROBADO
Unidad Ejecutora:	HOSPITAL DE SAN CARLOS		
Categoría de Servicio:	EQUIPOS COMPLEJIDAD B	Tipo de Orden de Trabajo:	MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Edificio o Servicio:	LABORATORIO CLINICO	SubServicio:	LABORATORIO
Solicitante:	-----	Autoriza:	-----
Lugar de Trabajo:	BANCO DE SANGRE	Teléfono o Extensión:	24011255
Ubicación:	BANCO DE SANGRE		
Descripción del Trabajo:	FALLO ELECTRICO. FAVOR REVISAR DE FORMA URGENTE. Activo: BANCO DE SANGRE, MARCA HELMER, MODELO JB111, SERIE 2005688		
Placa:	968126	Fecha de Emisión:	02/10/2017
Taller Encargado:	TALLER EQUIPO MEDICO		
Fecha de Inicio del Trabajo:	03/10/2017	Fecha de Finalización del Trabajo:	26/06/2019
Observaciones:	trabajo realizado		

Figura LVII: Reporte mantenimiento en refrigerador de glóbulos rojos
Fuente: Departamento Mantenimiento, 2019

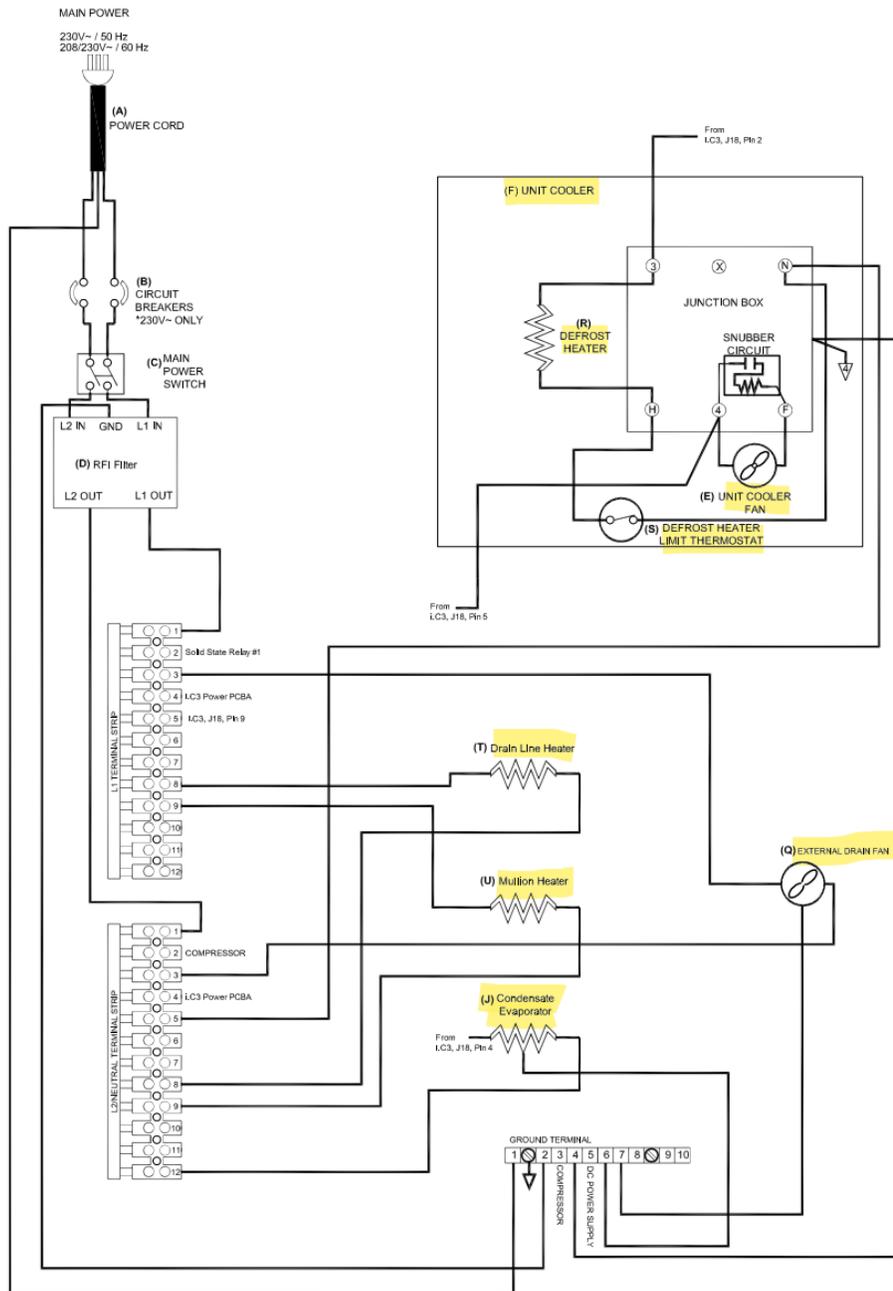


Figura LVIII: Diagrama eléctrico de congelador de plasma
Fuente: Manual de usuario Helmer, 2016

i.Series Refrigerator
 iB, iPR, and iLR
 111, 120, 125, 245, and 256 models
 Page 1 of 2

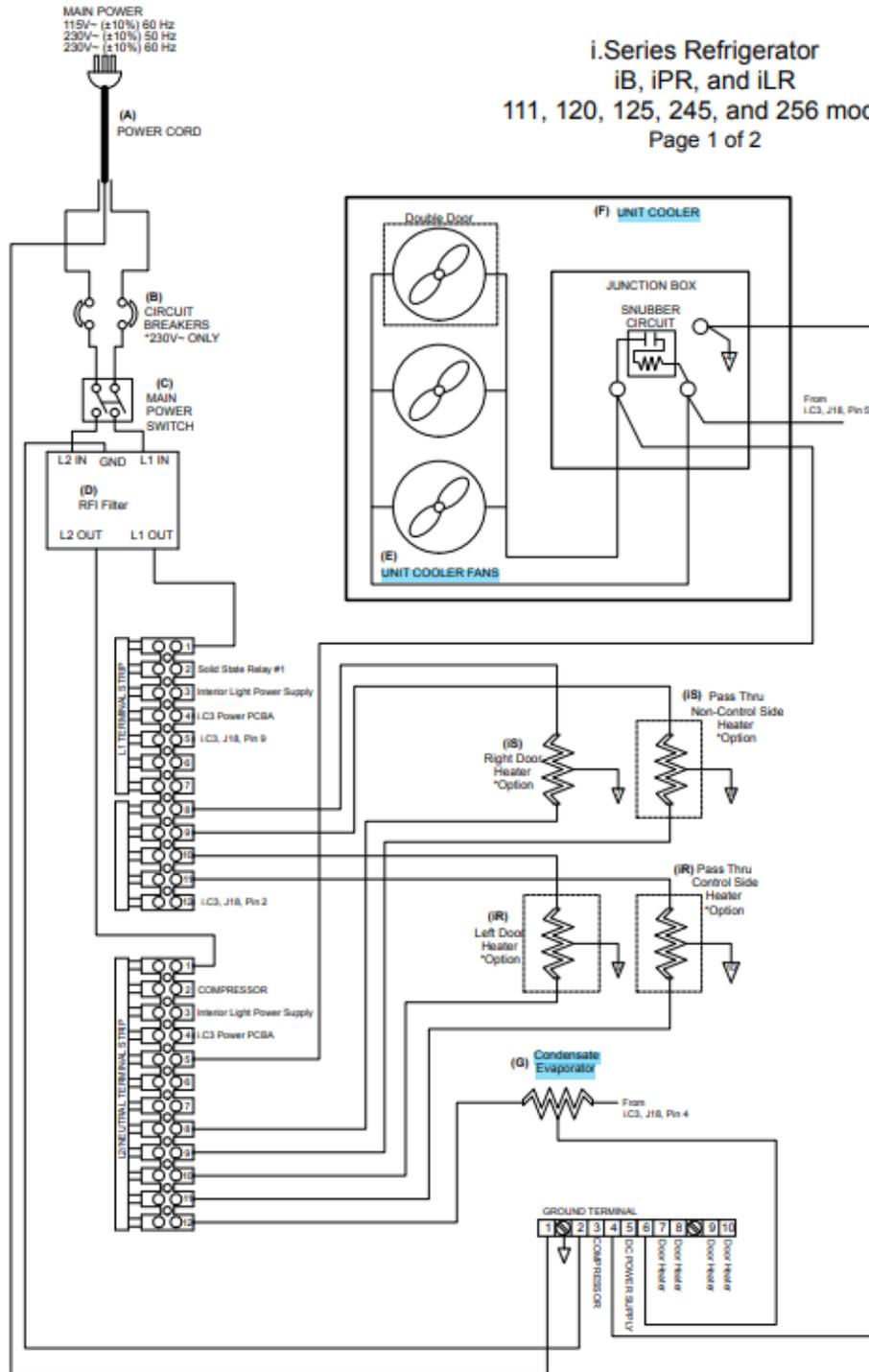


Figura LIX: Diagrama eléctrico de refrigerador de glóbulos rojos
 Fuente: Manual de usuario Helmer, 2016

7.2.1 PC100h, PC900h, and PC1200h 115 V models

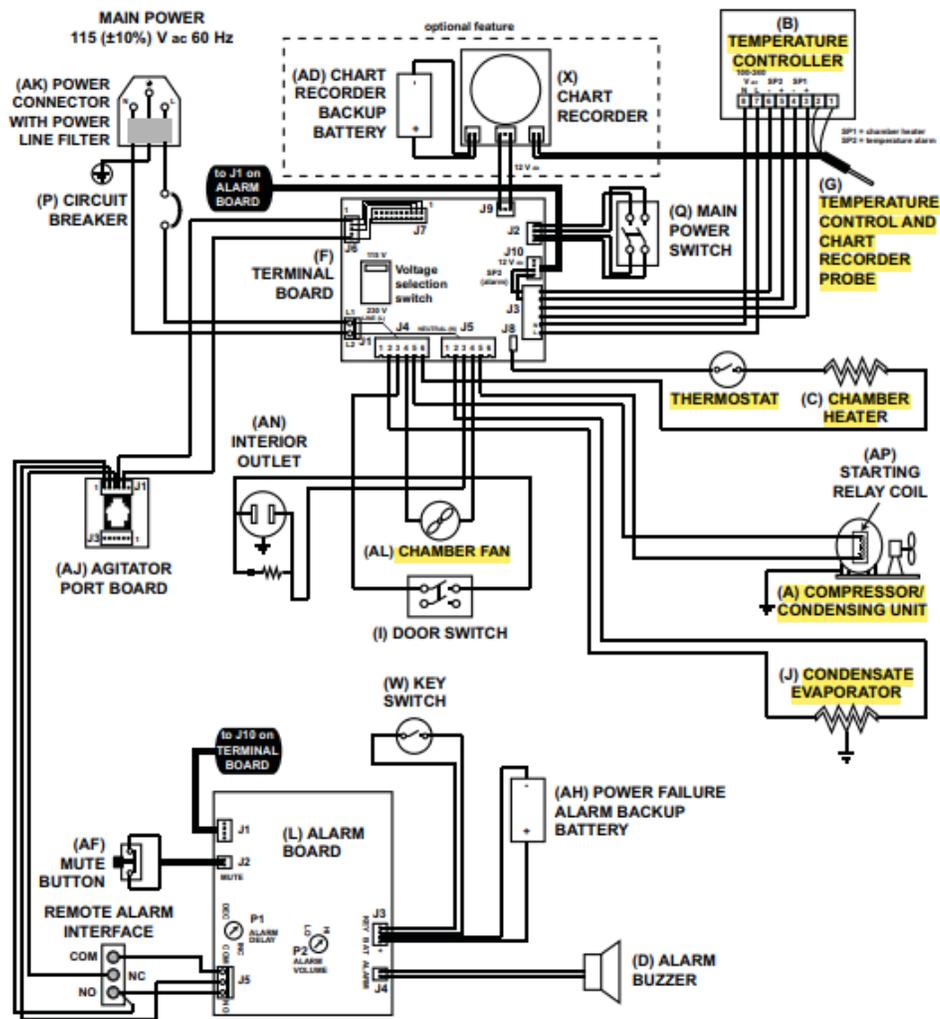


Figura LX: Diagrama eléctrico de incubadora de plasma
Fuente: Manual de usuario Helmer, 2008



Figura LXI: Incubadora de plaquetas modelo KC marca Kaida Scientific
Fuente: Ficha técnica Kaida, 2022



Figura LXII: Incubadora de plaquetas modelo PC900 Pro marca Helmer
Fuente: Ficha técnica Helmer, 2020

BIOBASE 



Figura LXIII: Incubadora de plaquetas modelo BJPX-SP10 marca Biobase Biolin
Fuente: Ficha técnica Biobase, 2022



Figura LXIV: Incubadora de plaquetas modelo 301300 marca Boekel Scientific
Fuente: Ficha técnica Boekel, 2022