

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Dispositivo de realidad aumentada para
mejorar la visibilidad de bomberos en incendios**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR:

Adrian Alejandro Saenz Arroyo

ASESOR:

Fredy Gwardo Sviróz Xelauswez

Lima, Perú, 2024

Informe de Similitud

Yo, Diego Eduardo Quiroz Velasquez, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

DISPOSITIVO DE REALIDAD AUMENTADA PARA MEJORAR LA VISIBILIDAD DE BOMBEROS EN INCENDIOS


del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as)

ADRIAN ALEJANDRO SAENZ ARROYO,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 7%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 01/11/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 10 de Diciembre 2024

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Quiroz Velasquez, Diego Eduardo</u>	
DNI:45872538	Firma 
ORCID: 0000-0001-8505-3045	

Resumen

Según cifras oficiales, se esperan aproximadamente 15.5 mil incendios este año y solo en Enero se superó el máximo histórico de incendios mensuales de los últimos diez años, debido a esto se decidió realizar entrevistas a miembros del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú de diferentes bombas de Lima Metropolitana con el fin de conocer sus rutinas, equipos y como planeaban enfrentar este año complicado. Entre sus diversas funciones, la de Búsqueda y Rescate es considerada la mas complicada y en la que solo participan los bomberos mejores entrenados y con mayor experiencia, quienes mencionan que su mayor dificultad en esta labor es la mala visibilidad, por esta razón, se propuso un sistema capaz de brindarles tres modos de visión para optimizar su labor en situaciones de poca o nula visibilidad y ayudarlos a salvar la mayor cantidad de vidas posibles.

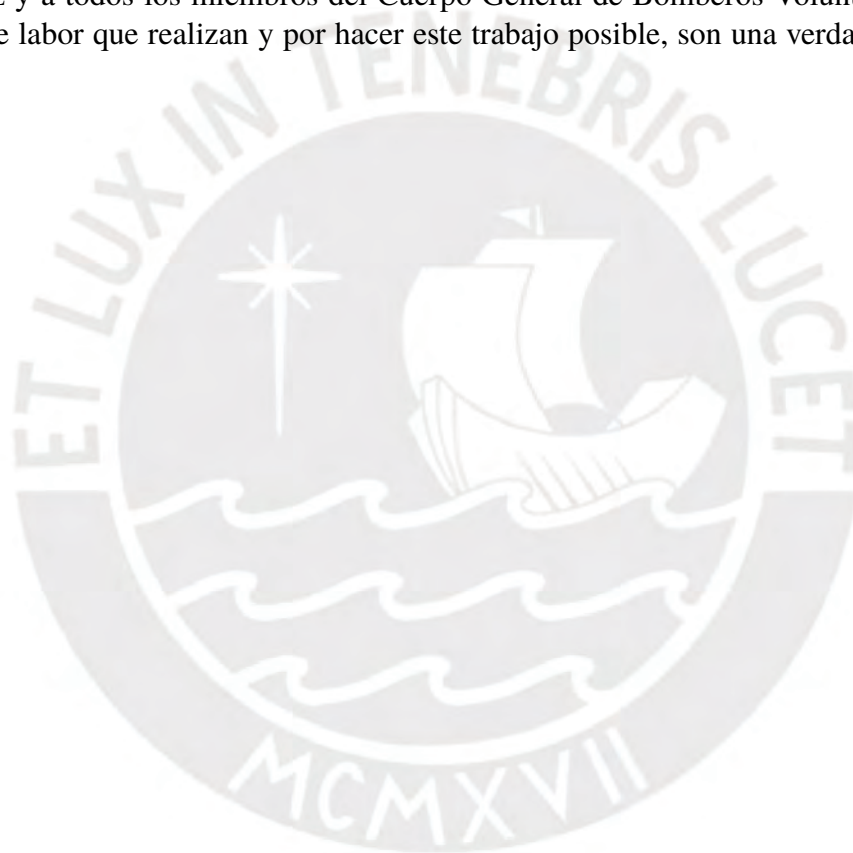
En el mundo existen solo dos empresas que intentan ayudar a los bomberos con la mala visibilidad a la que se enfrentan durante sus actividades de búsqueda y rescate con soluciones orientadas a la realidad de su país y de su cuerpo de bomberos. Luego de evaluar las fortalezas y debilidades de estos, conocer distintas tecnologías que satisfacen funciones específicas, documentar las exigencias según sus necesidades y conocer la realidad del Cuerpo de Bomberos del Perú, se planteó una solución que satisface tanto los requerimientos técnicos como económicos.

Esta solución aprovecha los espacios existentes entre la mascara de respiración y la cara del bombero, así como indumentaria y materiales propio de ellos. Además, la forma de interacción con el dispositivo es mediante un guante diseñado para evitar acciones no deseadas, este guante permite al bombero activar el modo de visión deseado que se proyectará en los lentes de realidad aumentada.

Agradecimientos

A mi familia por acompañarme todo este tiempo, especialmente a mi hermana Camila y Alvin por acompañarme en las amanecidas. Por el tiempo, la paciencia y los consejos a mi asesor Diego Quiroz y a todos los miembros del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú por la enorme labor que realizan y por hacer este trabajo posible, son una verdadera fuente de inspiración.

Gracias.



Índice de contenido

Resumen	I
Agradecimientos	II
Índice de contenido	III
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VI
Introducción	1
I. Antecedentes al diseño	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Problemática	3
1.3. Propuesta de solución	7
1.4. Alcances	7
1.5. Objetivos	8
1.5.1. Objetivo General	8
1.5.2. Objetivos Específicos	8
1.6. Metodología Aplicada	8
II. Estado del arte	10
2.1. Sistemas integrados	10
2.1.1. Sistemas con realidad aumentada	10
2.1.2. Sistemas sin realidad aumentada	13
2.2. Dispositivos de realidad aumentada	14
2.3. Cámaras térmicas	15
2.3.1. Módulos térmicos	16
2.4. Sensor de temperatura ambiental	17
2.5. Comunicación inalámbrica	18
2.5.1. Wi-Fi	18
2.5.2. Bluetooth	18

III. Diseño del Sistema	19
3.1. Requerimientos del sistema	19
3.2. Estructura de funciones	21
3.3. Diagrama de Operaciones	22
3.4. Sistema Propuesto	24
3.5. Diseño Electrónico	25
3.5.1. Arquitectura de Hardware	25
3.5.2. Electrónica Guante de interacción	26
3.5.3. Electrónica Dispositivo acoplable	30
3.6. Diseño Mecánico	35
3.6.1. Materiales	35
3.6.2. Mecánica Guante de interacción	37
3.6.3. Mecánica Dispositivo acoplable	39
3.6.4. Módulo de control	42
3.7. Interfaz de Usuario	45
3.7.1. Diseño	45
3.7.2. Procesamiento de imágenes	46
IV. Costos	51
4.1. Costo Guante	51
4.2. Costo Dispositivo Acoplable	53
4.3. Costo de Ingeniería	55
V. Conclusiones y Recomendaciones	56
Bibliografía	58

Índice de tablas

2.1.	Tabla comparativa sistemas integrados con realidad aumentada	13
2.2.	Tabla comparativa sistemas integrados sin realidad aumentada	14
2.3.	Tabla comparativa dispositivos de realidad aumentada	15
2.4.	Tabla comparativa cámaras térmicas	17
2.5.	Tabla comparativa sensores de temperatura	18
3.1.	Características interruptor REED	27
3.2.	Características iman N40SH	27
3.3.	Características Beetle ESP32	28
3.4.	Características batería CR2032	28
3.5.	Características Hilo Conductor	29
3.6.	Características cámara térmica	31
3.7.	Características lentes de realidad aumentada	31
3.8.	Características Jetson Nano	32
3.9.	Características Bateria LiFePO4	33
3.10.	Características elevador de voltaje 5A	34
3.11.	Características elevador de voltaje 2A	34
4.1.	Costo del proyecto	51
4.2.	Costo electrónica Guante de interacción	52
4.3.	Costo mecánica Guante de interacción	53
4.4.	Costo electrónica Dispositivo acoplable	53
4.5.	Costo mecánica Dispositivo acoplable	55
4.6.	Costo mano de obra	55

Índice de figuras

1.1. Tendencia de los incendios desde el año 2014.	4
2.1. Ubicación de la cámara y la nueva máscara	11
2.2. Comparativa de la visión con y sin este sistema.	12
2.3. Máscara de respiración junto a VizIR.	12
3.1. Estructura de funciones general	22
3.2. Diagrama de operaciones	23
3.3. Bombero con el dispositivo acoplable	24
3.4. Guante de interacción	25
3.5. Arquitectura de Hardware	26
3.6. Métodos de aislamiento	29
3.7. Conexiones guante de interacción	30
3.8. Modulo de carga LiPoFe4	33
3.9. Conexiones modulo de control.	35
3.10. Informe AZO Materials	36
3.11. Carcasa vista isométrica	37
3.12. Carcasa vista explosiva	37
3.13. Interior carcasa	38
3.14. Tapas	38
3.15. Análisis carcasa guante	39
3.16. Unión cámara térmica con lentes AR	39
3.17. Carcasa cámara térmica	40
3.18. Sistema acoplado a la máscara de respiración	40
3.19. Sellador altas temperaturas	41
3.20. Ranura roscada del acople izquierdo.	41
3.21. Componentes adicionales	42
3.22. Modulo de control	42
3.23. Vista explosiva	43
3.24. Vista isométrica	43
3.25. Fijación de componentes	44
3.26. Silicona altas temperaturas	44
3.27. Análisis modulo de control	45
3.28. Mockup Interfaz AR	46
3.29. Comparacion de algoritmos	47

3.30. Resultados diferentes paleta de colores	48
3.31. Representación HED	49
3.32. Comparación de resultados	49
3.33. Comparación de resultados	50
4.1. Cotización 3D HUBS	52
4.2. Cotización 3D HUBS	54
4.3. Cotización 3D HUBS	54



Introducción

El presente trabajo consta de cinco capítulos, donde el primero se encarga de presentar el contexto y la problemática que involucra la función de búsqueda y rescate del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú. Además, se define la solución conceptual, definiendo los objetivos y alcances del mismo.

En el segundo capítulo, se presentan sistemas integrados existentes, sean comerciales o no, así como todas las tecnologías actuales necesarias para satisfacer funciones específicas del sistema propuesto, como por ejemplo, dispositivos de realidad aumentada, cámaras térmicas, sensores de temperatura, baterías, entre otros.

Posteriormente, se presenta el trabajo de diseño de la solución propuesta, comenzando por la electrónica, la cual tiene gran importancia debido a la naturaleza del proyecto, ya que estos componentes deben ser pequeños y no interferir con el movimiento natural de los bomberos. Luego, la mecánica, la cual debe proteger y albergar los componentes electrónicos de agua, golpes y altas temperaturas, finalmente, el diseño de la interfaz de usuario y los modos de visión que serán parte del sistema.

Concluido el trabajo de diseño, se realiza una cotización aproximada del valor real del proyecto, considerando los costos de componentes electrónicos, fabricación, diseño, importación, entre otros. Finalmente, en el último capítulo se mencionan las conclusiones de este trabajo, también se proponen nuevas funcionalidades, las cuales no forman parte de la solución óptima, debido a la profundidad de investigación que estas requieren para ser consideradas en el diseño.

Capítulo I

Antecedentes al diseño

El presente capítulo brinda las bases para el entendimiento del problema a resolver y está dividido en tres partes. La primera, está dirigida hacia aquellos que no estén familiarizados con los protocolos y acciones que toman los bomberos en un incendio estructural, por lo que se hará un breve resumen de estos, enfocado principalmente al protocolo de búsqueda y rescate. Luego, se procede a describir la problemática, donde se mencionarán datos estadísticos y puntos por mejorar. Finalmente, se definen los alcances de este trabajo, así como su objetivo.

1.1. Antecedentes

Se denomina incendio estructural a aquel siniestro que se produce en edificaciones del tipo residencial, comercial o industrial, los cuales en su mayoría son causados por descuido o negligencia humana (ONEMI-Chile, 2016), de los que se puede mencionar: Problemas eléctricos, fugas de gases inflamables, mal manejo de pequeñas fuentes de fuego (velas, cigarrillos, etc), entre otras, pero que representan un grado de peligro según el tipo de edificación y sus condiciones. Debido a que estos lugares involucran la presencia constante de personas, este tipo de accidentes pone su vida en peligro y pueden llegar a ser mortales.

El cuerpo de bomberos tiene la función de controlar y extinguir el incendio, así como de salvar la mayor cantidad de vidas posibles, por tanto, si en un incendio estructural existen personas atrapadas y las condiciones permiten el ingreso a la edificación en cuestión, se activa

el procedimiento de Búsqueda y Rescate, el cual tiene como objetivo la protección de la vida, tanto del grupo de intervención como de las víctimas del siniestro.

- **Búsqueda:** Es el procedimiento ordenado y estructurado a seguir para encontrar a una víctima en una situación de emergencia. Se debe cumplir con las normas de seguridad, en beneficio del afectado y del rescatista.
- **Rescate:** Operaciones necesarias para trasladar a una persona desde un lugar de alto riesgo hacia uno seguro para su posterior atención.

Según la guía de auto-instrucción de la Academia Nacional de Bomberos de Chile (Riquelme Patricio, 2018), el número de rescatistas se elige dependiendo del tamaño de la estructura, usualmente el equipo está formado por cuatro integrantes, de los cuales tres ingresan a la estructura mientras uno permanece en el exterior, quien se encargará de mantener comunicación constante con ellos, con el fin de transmitirles información valiosa y conocer lo que ocurre en el interior. Una vez dentro, la estrategia empleada más común se denomina “eje inamovible”, el cual es aplicado con mayor frecuencia cuando hay problemas de visibilidad. Consiste desplazarse por el lugar en un solo sentido y manteniendo contacto constante con la pared de un lado (derecha o izquierda), en una posición baja y por debajo del eje neutro del fuego, donde existe menor temperatura y mayor visibilidad. Además, al ser un ambiente desconocido, suele emplearse algún elemento manual largo para ir rastreando frente a ellos y adelantarse al contacto con cualquier obstáculo. Esta acción suele ser acompañada de linternas o cámaras térmicas en caso se cuente con alguna. Cuando se encuentra una víctima, se procede con el rescate, aplicando maniobras especiales de modo que no se cause más daño del que ya pueda tener al ser encontrada.

1.2. Problemática

El Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (CGBVP) es el organismo competente en materia de control y prevención de los distintos eventos que puedan ocurrir que representen un peligro hacia la vida. Lo conforman bomberos en actividad, bomberos asimilados, bomberos en situación de retiro y no son considerados funcionarios ni servidores públicos, cumplen su función

de manera voluntaria y ad honorem (CGBVP, 2019a). Entre sus emergencias más comunes se tiene incendios, emergencias médicas, accidentes vehiculares, entre otros. Específicamente sobre incendios, según las estadísticas de emergencias del CGBVP publicadas en su página web (CGBVP, 2019b), se muestra que desde el año 2014 el número de incendios a nivel nacional está aumentando en un aproximado de 9% anual, comenzando con 9,637 en el año mencionado, llegando a 14,263 en el 2019 y con una proyección de 15,455 para el año 2020. Los datos previamente mencionados se muestran en la FIGURA 1.1

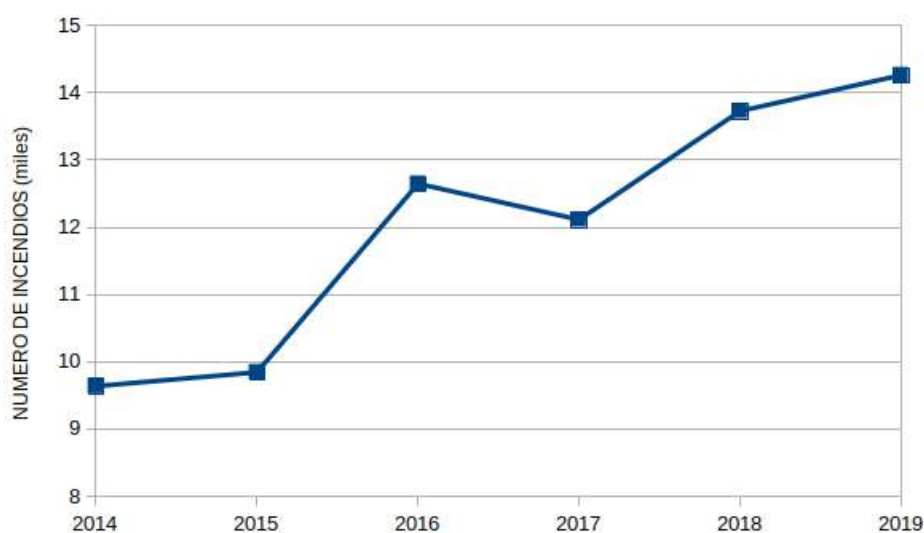


FIGURA 1.1: Tendencia de los incendios desde el año 2014.
Fuente: Elaboración Propia.

En los últimos 15 años, Perú registra solo 6 tragedias mortales en su cuerpo de bomberos (La República, 2016), situándose como uno de los países con menor mortalidad a nivel mundial y actualmente son cerca de 18,000 bomberos activos quienes se encargaran de la gran cantidad de incendios pronosticados. Sin embargo, a nivel Lima y Callao se registró 28 muertes en incendios, de los cuales tres fueron bomberos que quedaron atrapados en un incendio en el distrito de El Agustino en el año 2016 (El Comercio Perú, 2019, 2016). En el año 2017, un incendio en Las Malvinas acabó con la vida de dos jóvenes menores de 22 años y dejó 89 heridos (CNN, 2017). Los bomberos no pudieron rescatar a los fallecidos y uno de ellos casi pierde la vida. Solo a mitad del año 2018, ya se tenían registrados 27 muertos (Peru21, 2018) y el año pasado, revisando solo el material de la prensa, se pueden registrar 37 fallecidos (Diario Correo, 2019).

Los datos mencionados son cifras únicamente de Lima y Callao, por lo cual se estima que a nivel nacional estas cifras aumenten considerablemente. Además, no se está considerando el número de heridos, damnificados, bomberos que casi pierden la vida, entre otros. Debido al notorio incremento de fallecidos en incendios, se realizó una entrevista a bomberos de cuatro bombas, con el fin de conocer sus rutinas, dificultades y a que creen que se deba las cifras previamente mencionadas. Las bombas fueron:

- Los Olivos 161
- Magdalena 36
- San miguel 83
- Lima 4

Primero mencionaban que su labor es voluntaria y que realizan sus acciones solo con el fin de ayudar a otros, aunque eso signifique perder la vida, riesgo que tienen muy presente. También mencionaron las necesidades que cada bomba en particular tiene y que, debido al poco apoyo del estado, muchas veces ellos mismo compran sus herramientas y equipos de protección necesario, fue entonces cuando se preguntó por su labor de Búsqueda y Rescate, la cual involucra precisamente la información previamente mostrada, a lo que comentan que el equipo de rescatistas realiza un análisis de riesgos, usan equipos de protección personal con PASS (Personal Alert Safety Systems) incorporado, mantienen comunicación constante entre ellos y el bombero a cargo en el exterior y tienen un procedimiento internacional estructurado para buscar y rescatar víctimas. Sin embargo, existen factores internos y externos que afectan el desempeño de esta labor, en los factores internos se considera la condición física, el entrenamiento previo y la fortaleza mental de cada miembro del equipo, y por otro lado, la capacidad limitada de oxígeno, las altas temperaturas, la mala visibilidad y los constantes ruidos provenientes de diversas fuentes vendrían a formar parte de los factores externos. Los cuales dificultan la comunicación, desplazamiento, velocidad de acción, limitan el tiempo de acción y se vuelven más peligrosos con el transcurso del tiempo, por lo cual cuanto mayor sea el tiempo de rescate, mayor es la posibilidad de que sufran algún accidente.

Por consiguiente, se planteó la interrogante de cuál consideran el factor externo más peligroso y el que consideraban que más afectaba su labor, a lo que respondieron todos de la misma manera: La mala visibilidad y los ruidos que dificultan la comunicación. Muchas veces las mejores herramientas que tienen para su función de Búsqueda y Rescate son una linterna, la información que reciben de las víctimas que lograron salir y ocasionalmente, una cámara térmica, así que mencionaron también los beneficios que tendrían ellos, su labor y las víctimas, si pudieran contar con herramientas que les permitiera desenvolverse mejor, sobretodo en ambientes de mala visibilidad que es a lo que más se enfrentan y menos preparados están.

Como se puede apreciar, la baja o nula visibilidad de los bomberos en su función de Búsqueda y Rescate es un problema grave, que pone en riesgo tanto la vida de los rescatistas como de las víctimas, lo cual incluso puede llegar a causar sensación de culpa, estrés o resentimiento hacia los compañeros o hacia los protocolos de seguridad, ya que cada vida que no pudieron salvar les afecta a nivel individual y de equipo, pudiendo desencadenar una acción no deseada en futuras emergencias. Por otro lado, hay situaciones que no deberían ocurrir pero que existe la posibilidad que sucedan, como lo es la desorientación o accidente de un miembro del equipo rescatista. Esto exige la más rápida atención para salvar a este compañero, debido a que el tiempo que le dedican en salvarlo, es tiempo que se le quita a las víctimas, del mismo modo ocurre con el tiempo que se demoran en llegar hasta la víctima. Al ser una situación de vida o muerte, los segundos cuentan. Por tanto es necesario herramientas y equipos que ayuden con la mala visibilidad en esta labor para evitar sus trágicas consecuencias.

A nivel global la tecnología no ha sido ajena a esta problemática, por lo que en el año 2000, los bomberos se comenzaron a equipar con cámaras térmicas en distintas partes del mundo (Qwe.wiki, 2020), tecnología que hasta entonces solo era para uso militar, pero que esta vez era usada precisamente para mejorar la visibilidad en incendios con mucha cantidad de humo, logrando de esta manera hallar a las víctimas de manera más fácil y rápida que antes. Poco a poco su aplicación fue creciendo, se comenzó a usar para detectar fuentes de calor y evitar daños al equipo por fenómenos que se conocen como explosión por flujo reverso (Backdraft) o inflamación súbita generalizada (Flashover)(Riquelme Patricio, 2018). A la actualidad es un herramienta esencial para el cuerpo de bomberos en todas partes del mundo, pero que no todas

las bombas en Perú tienen.

Pese a sus méritos, esta tecnología tiene sus limitaciones, ya que su uso involucra tener una mano ocupada en todo momento, por lo cual se complican las actividades en las que los rescatistas requieran buena visibilidad y el uso de ambas manos. Además, en algunos incendios, la densidad del humo es tan elevada que se les dificulta ver su propia mano al colocarla frente a su máscara de respiración. En estos casos, es imposible visualizar la pantalla de una cámara térmica, incluso con el brillo configurado al máximo. Por ello, es importante que los bomberos cuenten con las funcionalidades de una cámara térmica, pero que la imagen siempre sea visible y que les deje ambas manos disponibles, de esta manera podrán sentirse más seguros y cumplir su labor de manera más óptima, salvando la mayor cantidad de vidas y detener así el incremento de fallecidos por incendios.

1.3. Propuesta de solución

Se plantea un dispositivo acoplable a cualquier casco o máscara de respiración que cuente con un modo de visión térmica, un modo de visión de bordes y un modo de visión normal. Además, se podrá navegar entre ellas presionando interruptores situados en el guante, donde el dedo pulgar funcione como selector y al ser presionado contra los otros dedos de la misma mano, se activará el modo que se desee. Toda información relevante será visible en una interfaz Head-Up mediante Realidad Aumentada y constantemente se mostrará: Temperatura del lugar, aproximado de tiempo de duración del tanque de oxígeno y un indicador de la ubicación del equipo. Opcionalmente, si el tiempo lo permite, se desarrollara un sistema de comunicación por radio y amplificador de voz, todo incorporado en el casco o máscara de respiración.

1.4. Alcances

Se diseñará el dispositivo acoplable, el modulo de control y la electrónica requerida tanto para estos y para el guante. Además se diseñara y simulara la interfaz gráfica en computadora y el funcionamiento del guante como seleccionador.

1.5. Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos para el desarrollo del proyecto.

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar un dispositivo que permita mejorar la visibilidad y el desempeño de los bomberos en su función de búsqueda y rescate brindándoles tres modos diferentes de visión y una interfaz de realidad aumentada.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Revisar estado de la tecnología actual.
- Diseñar un dispositivo acoplable a la máscara de respiración que permita la visualización de la cámara con realidad aumentada.
- Diseñar la electrónica que permita obtener diferentes modos de visión y poder cambiar entre ellos usando interruptores.
- Desarrollar una interfaz que permita visualizar los diferentes modos de visualización con realidad aumentada.

1.6. Metodología Aplicada

Se comenzará revisando literatura científica y sistemas integrados similares a la solución deseada con el fin de conocer tecnologías usadas, ventajas y desventajas de cada uno de ellos y llegar a una solución óptima aprovechando sus fortalezas. Principalmente se busca conocer:

- Ubicación del Heads-Up Display: Parte del casco, máscara de respiración u otro donde colocan el display para visualizar la información

- Interfaz empleando realidad aumentada: Consideraciones para no afectar los sentidos del bombero y sea un agente distractor.
- Interacción con el sistema: La manera que el usuario puede interactuar con el sistema para obtener la información que desee.
- Visión térmica obtenida: Resolución, escala de temperaturas y mapa de colores que emplean.
- Ubicación de la electrónica: Donde está colocada la electrónica, ya que por naturaleza no están diseñadas para soportar altas temperaturas.

Luego, se buscará entre los componente existentes, aquellos que mejor reflejen las lecciones aprendidas y serán clasificados según su función en una matriz morfológica, lo cual servirá para determinar al menos dos conceptos de solución a la problemática. Posteriormente estos conceptos serán sometidos a un análisis técnico-económico para elegir la solución óptima.

Una vez elegida la solución óptima, se procederá a realizar diseños preliminares para determinar los mejores criterios de geometría, peso y ergonomía, ya que al ser un producto orientado a personas estos criterios tienen una gran importancia. Asimismo, se tendrá en cuenta el cumplimiento de los requerimientos de la norma internacional NFPA 1971 para el equipamiento de los bomberos, de esta forma se asegura el cumplir estándares desde el diseño para una posible implementación en un futuro cercano. Continuando con el diseño preliminar, se realizarán cálculos preliminares de energía requerida, entre otros aspectos técnicos necesarios.

Concluido esto, se procederá con el desarrollo de la lógica del sistema, para lo cual los diagramas de operaciones y diagramas de flujo serán de mucha utilidad. Finalmente, se realizará la selección de componentes que satisfagan todos los requerimientos obtenidos, logrando así tener un diseño definitivo. Esto incluye la elaboración de planos mecánicos, diagramas electrónicos, análisis de resistencia a altas temperaturas y la simulación del sistema.

Capítulo II

Estado del arte

En el presente capítulo se muestran sistemas integrados, los cuales también buscan mejorar la visibilidad de los bomberos haciendo uso de realidad aumentada, desarrollando su propio sistema de visión o acoplando una cámara térmica al casco. Luego, se presenta brevemente algunos dispositivos de realidad aumentada similares a los que se desea implementar en este trabajo. A continuación, una explicación sobre el funcionamiento de las cámaras térmicas y algunos módulos existentes. Se procede a una comparativa de sensores de temperatura de alto nivel, así como de baterías adecuadas para labores de riesgo que no involucren peligro de explosión. Finalmente, se brindan alternativas de comunicación inalámbrica.

2.1. Sistemas integrados

En los sistemas integrados se presenta dispositivos que tienen características similares para dar solución al problema presentado o se acercan a la solución.

2.1.1. Sistemas con realidad aumentada

A continuación se muestran sistemas que han desarrollado una interfaz de realidad aumentada como valor agregado para solucionar la problemática que se desea resolver. La mayoría de estos sistemas son comerciales.

A Headmounted Display with Augmented Reality helmet

Es un sistema desarrollado por la empresa Tanagram en el 2016 en Estados Unidos, cuya función era dotar a los bomberos con diferentes herramientas usando un conjunto de gestos con las manos (FireRescue, 2012). Era posible pasar de visión normal a visión térmica, ver en la interfaz de realidad aumentada tus signos vitales y entre otras cosas, ver lo que los otros miembros del equipo ven.

Tal como se muestra en la FIGURA 2.1, este modelo contiene una cámara en la parte superior del casco y reemplaza la máscara del sistema de oxígeno de los bomberos por un display OLED transparente y flexible, ampliando así el rango de visión.

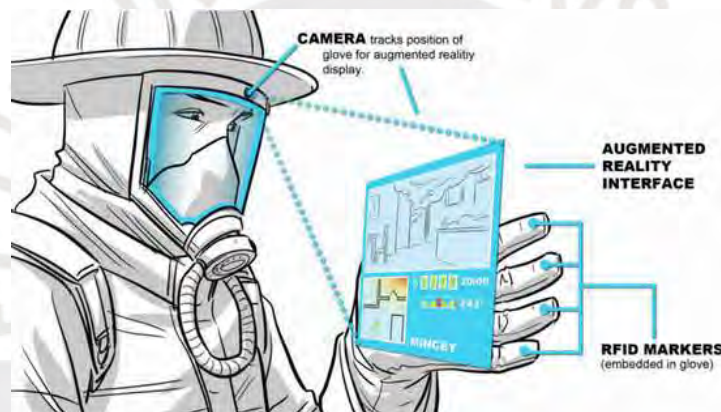


FIGURA 2.1: Ubicación de la cámara y la nueva máscara
Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=QBAnr2gQTH0>

C-THRU: Augmented Reality helmet

Tecnología desarrollada en el año 2018 por Quake Technologies en Estados Unidos, su función principal es lograr que el bombero vea en condiciones de muy baja o nula visibilidad debido al humo, para lo que han desarrollado un sistema especial de visión (BBC, 2020), este sistema se presenta en la FIGURA 2.2. El display está basado en unos lentes de realidad aumentada y no reemplaza ningún elemento de la máscara inicial como en el caso anterior, además la cámara de cada rescatista transmite vídeo hacia un dispositivo que usa el bombero a cargo en el exterior.

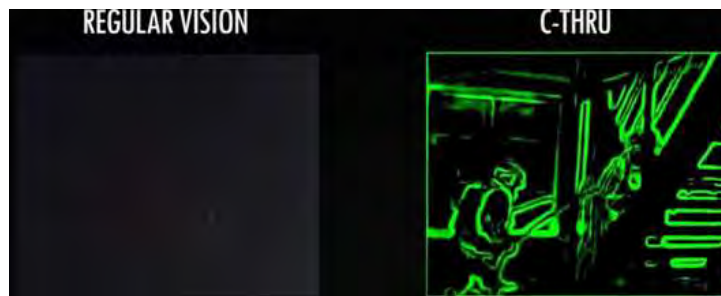


FIGURA 2.2: Comparativa de la visión con y sin este sistema.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=m6RNkqFgdUI>

Longan Vision

Es el sistema mas reciente, lanzado oficialmente en el 2020 de origen Canadiense. Su ultima version posee tres camaras y desarrolla un modo de vision denominado "Fusion vision system" que integra la vision termica y la vision nocturna, ademas que intenta resolver otros problemas, como el de la mala comunicacion. En la imagen 2.3 se aprecia una de las primeras versiones.

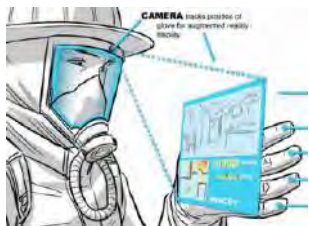




FIGURA 2.3: Máscara de respiración junto a VIZIR.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=0TWupiW1ww0>

Finalmente, se recopila lo expuesto previamente en la tabla 2.1, contrastando información de los tres sistemas integrados existentes, esto con el fin de poder identificar las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 2.1: Tabla comparativa sistemas integrados con realidad aumentada




	HDM with AR	C-thru	Longan Vision
Imagen			
Visor	Toda la máscara	Binocular	Binocular
Interactúa con el usuario	Si, mediante gestos con la mano	No	No
Modo de Visión	Visión normal y visión térmica	Visión de bordes	Visión térmica y visión nocturna.
Observaciones	Información mostrada en la interfaz es muy completa: Nivel de oxígeno, temperatura del lugar, posición de los compañeros, camino recorrido, etc	Procesador con GPU procesa la imagen térmica captada para obtener un nuevo modo de visión	El sistema va acoplado al casco, no modifica la máscara de respiración. Su interfaz brinda información como temperatura, presión y humedad.

Fuente: Elaboración Propia.

2.1.2. Sistemas sin realidad aumentada

Los siguientes sistemas han desarrollado funcionalidades que permiten mejorar la visibilidad en ambientes con excesiva cantidad de humo pero sin usar una interfaz de realidad aumentada, por lo que su característica principal es la de posicionar el display de modo que sea más accesible dentro del rango visual del bombero. La máscara de respiración Scott Sight permite acoplar una cámara térmica e incluye un display a la altura del ojo, además de contar con un modo de ahorro de energía (3M™ Scott™, 2020). Por otro lado, el casco HERO-Titan, permite acoplar también una linterna y su display está en una posición externa tanto al casco como a la máscara de respiración (Rosenbauer, 2019). Finalmente, VizIR es un dispositivo acoplable que aprovecha la cámara térmica existente y retransmite la imagen en su visor (Sandy Evangelista, 2016). Este dispositivo no modifica la máscara. La tabla 2.2 hace una comparativa de sus características.

Tabla 2.2: Tabla comparativa sistemas integrados sin realidad aumentada

	Scott Sight	HERO-Titan	VizIR
Imagen			
Display	Interior	Exterior	Interior acoplable
Permite acoplar	Cámara térmica	Cámara térmica y linterna	No
Observaciones	La cámara térmica esta siempre encendida y posee un modo de ahorro de energía.	Display ubicado en la parte exterior para una mejor visualización, además es de estructura móvil.	Retransmite la imagen captada por la cámara térmica existente

Fuente: Elaboración Propia.




2.2. Dispositivos de realidad aumentada

La realidad aumentada es una tecnología que combina el mundo real con el mundo virtual y ha tenido un gran impacto en la industria de moda, seguridad, publicidad, redes sociales, videojuegos, entre otros. Actualmente se encuentra en auge y esto se puede observar en la gran cantidad de nuevos dispositivos, funcionalidades y mejoras que se presentan anualmente en la Feria de Electrónica de Consumo (Tekla S. Perry, 2020), sin embargo, puesto que en el presente trabajo el rol que cumple este subsistema es, principalmente, mostrar información al usuario, se ha considerado esto en la comparativa. Así pues, los siguientes dispositivos serán del tipo lentes o gafas y se contrasta la distribución de la electrónica, displays usados e interacción con el usuario, además se tiene un apartado de observaciones para información variada propia de cada dispositivo.

El Google Glass fue lanzado en el 2012 y relanzado en el 2017 con el sector empresarial como publico objetivo (Google, 2020). Permite comunicarte con el asistente de google, crear y visualizar eventos, así como tomar fotos. Los lentes Epson Moverio esta orientado a hacia

usuarios con drones, permitiéndoles conectarse a ellos y ver lo que la cámara del dron ve (EPSON, 2020). Vuzix Blade cuenta con su propio sistema operativo basado en Android y un touchpad en la montura que te permite interactuar con el. Cuenta con su propia tienda virtual y juegos, también permite tomar fotografías (Vuzix, 2020). Focals, por su parte, no posee una cámara integrada a la montura, ya que su finalidad es solo mostrar información al usuario, información proveniente de su celular (North, 2020). A continuación la tabla 2.3 hace una comparativa de sus características

Tabla 2.3: Tabla comparativa dispositivos de realidad aumentada

	Google Glass Enterprise	Epson Moverio	Vuzix Blade	Focals glasses
Imagen				
Número de Displays	1	2	1	1
Interacción con el usuario	Comando de voz y Touchpad en el visor	Uso de mando con touchpad.	Comando de voz y Touchpad en el visor	Comando de voz y Anillo joystick.
Distribución de la electrónica	Integrada al visor. Totalmente autónoma	Controlador y touchpad separado. Conexión por cable.	Integrada al visor. Extensión del celular	Integrada al visor. Extensión del celular
Manos libres	Si	No	Si	No
Observaciones	Posee solo la estructura básica de los lentes. La cámara y el display están en el mismo lado	Se muestra una imagen completa. Cuenta con una cámara. Dispositivo orientado a la industria de drones.	El lente derecho posee el display donde se ve la imagen y el izquierdo, una cámara.	No posee una cámara, está enfocada solo para salida de información, no ingreso.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3. Cámaras térmicas





Debido a que el precio de las cámaras térmicas comerciales iguala o excede el costo propuesto como parte de los requerimientos del sistema, la opción mas viable es seleccionar módulos térmicos, los cuales brindan una imagen térmica de calidad, son mas económicos y de tamaño reducido.

2.3.1. Módulos térmicos

Para la búsqueda de esta información, primero se debe conocer el funcionamiento de las cámaras térmicas y cuales son las características a tomar en cuenta para escoger una, por tanto se describirá brevemente algunas de las características que se consideran las más importantes con la finalidad de lograr el objetivo de este proyecto.

Las cámaras térmicas no detectan temperaturas directamente, detectan el espectro de radiación electromagnético producido por cualquier cuerpo y lo convierten en valores analógicos para mostrar una imagen de diferentes colores donde usualmente rojo significa mayor temperatura y azul menor temperatura, dependiendo de su escala. Según su fabricación se clasifican en cámara térmica con y sin refrigeración, esto hace referencia al mecanismo interno con el que procesan la radiación, por tanto afecta en la longitud de onda que detectan y su aplicación. Para ambientes con polvo y humo, las cámaras térmicas sin refrigeración son la mejor opción (Opgal, 2018a). Otro factor importante es la sensibilidad, definida por su NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) cuya unidad es el miliKelvin (mK) y hace referencia a la diferencia de temperaturas que debe existir entre el ambiente y un objeto para que este genere una variación en la señal detectada por la cámara. A menor valor de sensibilidad es mejor. La resolución viene dado por el tamaño del píxel, el cual se recomienda 17 μ m y el arreglo de píxeles térmicos, el cual es diferente al arreglo de píxeles del display o pantalla LCD. Para que se logre diferenciar una forma, se recomienda que el arreglo térmico debe ser de al menos 120x160 (Opgal, 2018b). La última característica a considerar es que los cuadros por segundo debe ser mayor a 9Hz para garantizar una imagen con un retraso nada o poco perceptible por el usuario. Los módulos térmicos que satisfacen las características mencionadas se muestran en la tabla 2.4 cuya información técnica fue sacada de la página oficial de FLIR (FLIR, 2020).

Tabla 2.4: Tabla comparativa cámaras térmicas

	Lepton 3	Lepton 3.5	Boson 320	Boson 640
Imagen				
Arreglo Térmico	120x160	120x160	320x256	640x512
Sensibilidad	50 mK	50 mK	50 mK	50 mK
Tamaño del pixel	12 um	12 um	12 um	12 um
Cuadros por segundo	9 Hz	9 Hz	60 Hz	60 Hz
Rango de medición	0 a 120°C	-10° a +140°C -10° a +450°C	-10° a +140°C -10° a +500°C	-10° a +140°C -10° a +500°C
Shutter	Si	Si	No	No
Radiometría	No	Si	No	No
Rango de trabajo	-40° a 80°C	-40° a 80°C	-50° a 105°C	-50° a 105°C
Precio	\$ 239.00	\$ 259.00	\$ 2,100.00	\$ 4,400.00






Fuente: Elaboración Propia.

2.4. Sensor de temperatura ambiental

Este sensor tendrá la función de medir temperatura en el entorno donde se encuentre el bombero. Para una mejor lectura, se encontrará expuesto en todo momento, por lo que deberá ser capaz de aguantar una temperatura máxima de 500°C, esto considerando un factor de seguridad del doble de la temperatura máxima que puede soportar el traje de bombero (Aprox. 200°C). Además, debido a que no existe un sensor comercial de gama baja que soporte una temperatura mayor a 125°C, se trabajará con sensores industriales, los cuales ofrecen un mayor rango de temperatura de trabajo, llegando algunos hasta 1200°C.

Los sensores del tipo PT son sensores resistivos de temperatura (RTD) lo que significa que tienen un valor nominal de resistencia a temperatura ambiente y disminuyen este valor cuanto mayor sea la temperatura a la que se les expone, por ende, se les puede ver en diagramas eléctricos representados como una resistencia variable. Por otro lado, las termocuplas son una conjunción de dos metales diferentes que al ser expuestos a ciertas temperaturas, forman un voltaje analógico muy pequeño que requiere de amplificadores para ser leídos. Se ha comparado estos dos tipos de sensores en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Tabla comparativa sensores de temperatura

	PT1000	PT100	Termocupla J	Termocupla E	Termocupla T
Imagen					
Rango de medicion	-50° a 600°C	-50° a 600°C	-40° a 750°C	-40° a 900°C	-50°C a 400°C
Sensibilidad	-	-	5.6 mV/100°C	7.9 mV/100°C	4.5 mV/100°C

Fuente: Elaboración Propia.

2.5. Comunicación inalámbrica

Existen diversas formas de transmitir información inalámbricamente, sin embargo, los equipos de los bomberos trabajan principalmente con Wi-Fi y Bluetooth. Con el objetivo de que el sistema propuesto se pueda comunicar, si así se requiera, con sus equipos existentes, estas tecnologías serán las principales opciones.

2.5.1. Wi-Fi

Tecnología de transmisión de datos inalámbrica de gran alcance que puede llegar hasta 100 metros en un espacio abierto y a mayor distancia con repetidores. En la actualidad existen detectores de humo que son capaces de enviar señales cuando se activan, así como drones y vehículos eléctricos de bomberos desarrollados por la empresa Rosenbauer que usan esta tecnología para transmitir información (Cesar Otero, 2019), esto gracias al ancho de banda del Wi-Fi de 11 Mbps. Adicionalmente, existen cámaras térmicas con esta tecnología que son capaces de mostrar en otro dispositivo lo que están captando.

2.5.2. Bluetooth

Esta tecnología de comunicación tiene un alcance de 10 metros, es económica comparada con el Wi-Fi y consume hasta 10 veces menos energía, por eso esta muy presente en tecnología “wearable” (Sam Sattel, 2019) y es muy usada para aplicaciones donde no existe una gran cantidad de datos a transmitir, debido a su ancho de banda de 800 Kbps.

Capítulo III

Diseño del Sistema

El presente capítulo comienza definiendo y justificando los requerimientos del sistema. Luego, se presenta la estructura de funciones y el diagrama de operaciones, esto con el fin de brindar un entendimiento a nivel técnico y a nivel usuario el funcionamiento del sistema. Finalmente, se documenta el proceso de diseño, sin embargo, la justificación de los pasos y las elecciones de este capítulo se encuentran con mayor detalle en el Anexo II.

3.1. Requerimientos del sistema

En esta sección se justifican los requerimientos establecidos mostrados en el Anexo I.

- **Función Principal:** Dotar al bombero con tres tipos de visión: visión normal, visión térmica y visión de bordes, pudiendo cambiar entre ellas presionando interruptores que estarán situados en su guante.
- **Geometría:** El dispositivo acoplable tendrá la forma de lentes de dimensiones máximas 200x90x90mm, lo que corresponde a las medidas de unos lentes convencional adicionando un aproximado de la electrónica posicionada ahí. El módulo de control, el cual estará separado del dispositivo previo pero conectado a él por cable, tendrá de dimensiones máximas 120x100x60mm considerando que sea de tamaño compacto, que pueda caber en las manos de los bomberos y en sus bolsillos.

- **Fuerzas:** Debido que se plantea que el dispositivo sea acoplable a la máscara de respiración, este deberá pasar las pruebas según la norma NFPA1981, la cual establece una prueba de impacto desde una altura de 15cm, por lo que dicho dispositivo deberá soportar una fuerza de impacto de 200N.
- **Energía:** La duración aproximada de su tanque de oxígeno es de 30 minutos, por lo que la autonomía del sistema debe ser mayor o igual a dicho valor, ya que existen dispositivos como cámaras térmicas con una autonomía de 2 horas, se estará considerando este valor como tiempo deseado.
- **Señales:** El sistema contará con señales de entrada y de salida, siendo las del primer tipo: Encendido del sistema, señal para activar visión normal, señal para activar visión térmica, señal para activar visión de bordes y las del segundo tipo: Señal de encendido del sistema y señal de batería baja del sistema.
- **Electrónica:** La electrónica considera sensores, controladores y equipo necesario para procesar y actuar en base a la información recibida, se tiene: sensor para captar energía infrarroja, sensor para medir temperatura, sensor para control por voz, actuador para activar visión normal, actuador para activar visión térmica, actuador para activar visión de bordes y controlador.
- **Seguridad:** En lo que respecta a la seguridad del dispositivo, este debe tener un grado de protección IP66, dado que en el ambiente de un incendio hay gran cantidad de humo y al agua por posibles salpicaduras, producidas por tuberías rotas o por la misma línea de ataque. Además, sobre la seguridad del usuario, deberá ser aprobado según la norma NFPA1971, norma que garantiza que el dispositivo es utilizable por el bombero durante su labor.
- **Ergonomía:** Para la ergonomía del sistema se considera el diseño según la norma ISO/CD TR 9241-380, la cual brinda características que debe tener un sistema de HMD (Head-Mounted Display) y su interacción con el usuario. Además, según la norma ISO 10993, el material del dispositivo no deberá causar irritación por contacto con la piel.

- **Uso:** El dispositivo deberá soportar hasta una temperatura máxima de 200°C, temperatura máxima que soporta también el traje de los bomberos.
- **Tiempo de proceso:** El tiempo máximo de establecimiento de la imagen cuando se realice el cambio entre un modo de visión y otro será de 1 segundo y el retraso de la imagen, en caso exista, será de máximo 300 ms. Estos tiempos consideran que el sistema va a ser usado en una situación de emergencia, por ende, las transiciones y tiempos de respuesta deben ser lo más rápido posible para asegurar una respuesta oportuna.
- **Interfaz:** Se mostrará constantemente un aproximado de la duración del tanque de oxígeno, la temperatura del lugar y la ubicación de los miembros de su equipo usando Realidad Aumentada, sin embargo, su diseño considera no mostrar información que obstruya el rango visual, ni colores de gran intensidad que pueda ser considerado un factor distractor.
- **Costo:** El costo máximo del sistema será de 5,000 dólares americanos, precio promedio de las cámaras térmicas comerciales y usadas por bomberos a nivel mundial.

3.2. Estructura de funciones

El sistema está dividido en dos dispositivos el primero de ellos es el guante que se encarga de enviar las señales de la acción que se desea realizar y el segundo, el dispositivo acoplado a la máscara de respiración que actúa según la señal recibida previamente para activar o desactivar la interfaz de realidad aumentada mostrando el tipo de visión que se seleccionó. En la FIGURA 3.1 se muestra la interacción entre todos los componentes de ambos dispositivos.

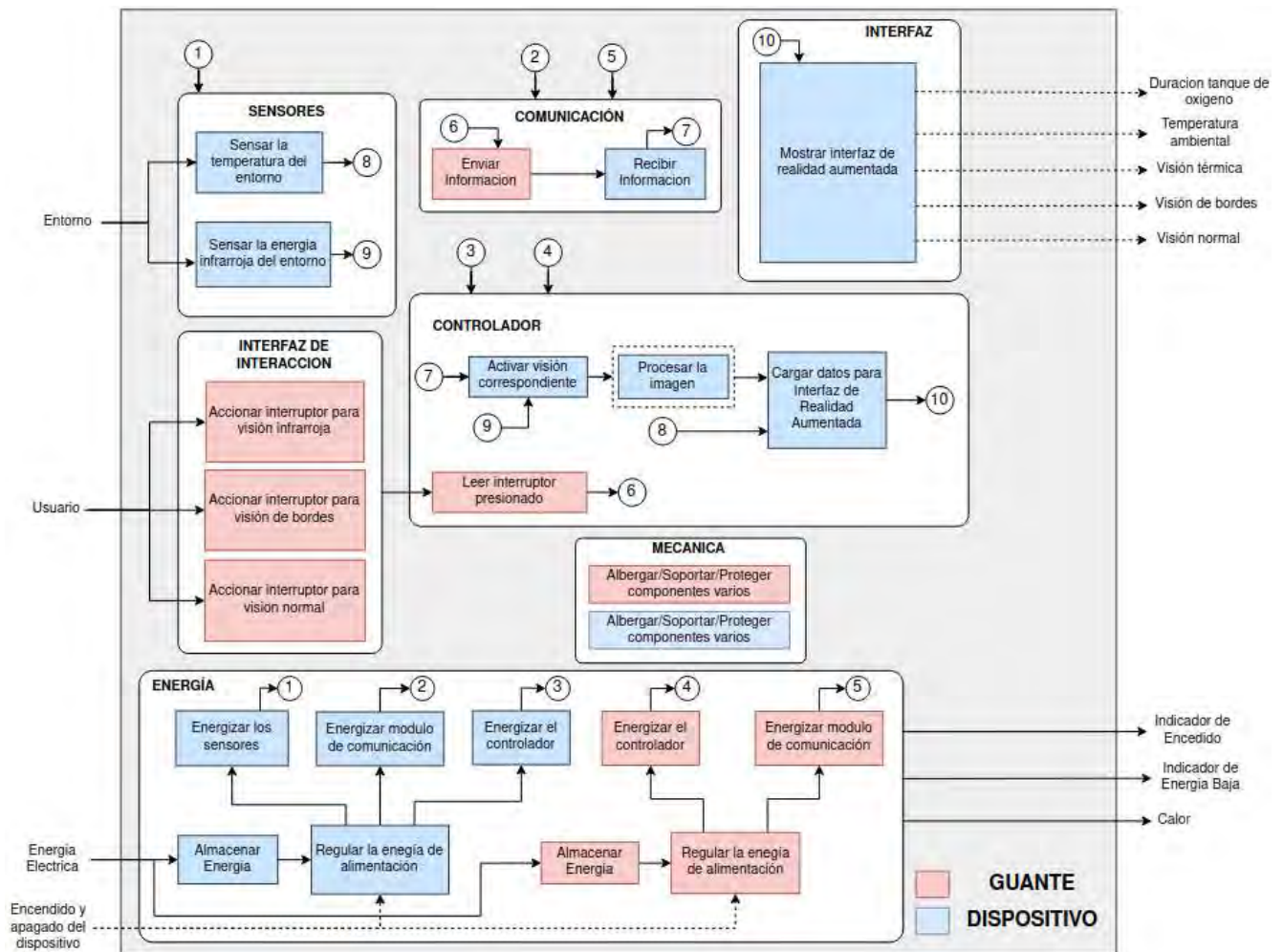


FIGURA 3.1: Estructura de funciones general
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Diagrama de Operaciones

En la FIGURA 3.2 se presenta un diagrama con los pasos más importantes a seguir por el bombero de manera secuencial. Primero se debe verificar el estado de la batería del módulo de control y del guante, y reemplazarlas o recargarlas en caso no se encuentre en óptimas condiciones, seguido a esto, el bombero procede a ponerse el guante, posicionar el módulo de control y conectar el cable USB, para finalmente realizar el emparejamiento del Bluetooth y ya se encontraría listo para aprovechar todas las funcionalidades del sistema propuesto. El sistema se termina cuando se desenergiza, caso contrario debe seguir encendido en todo momento.

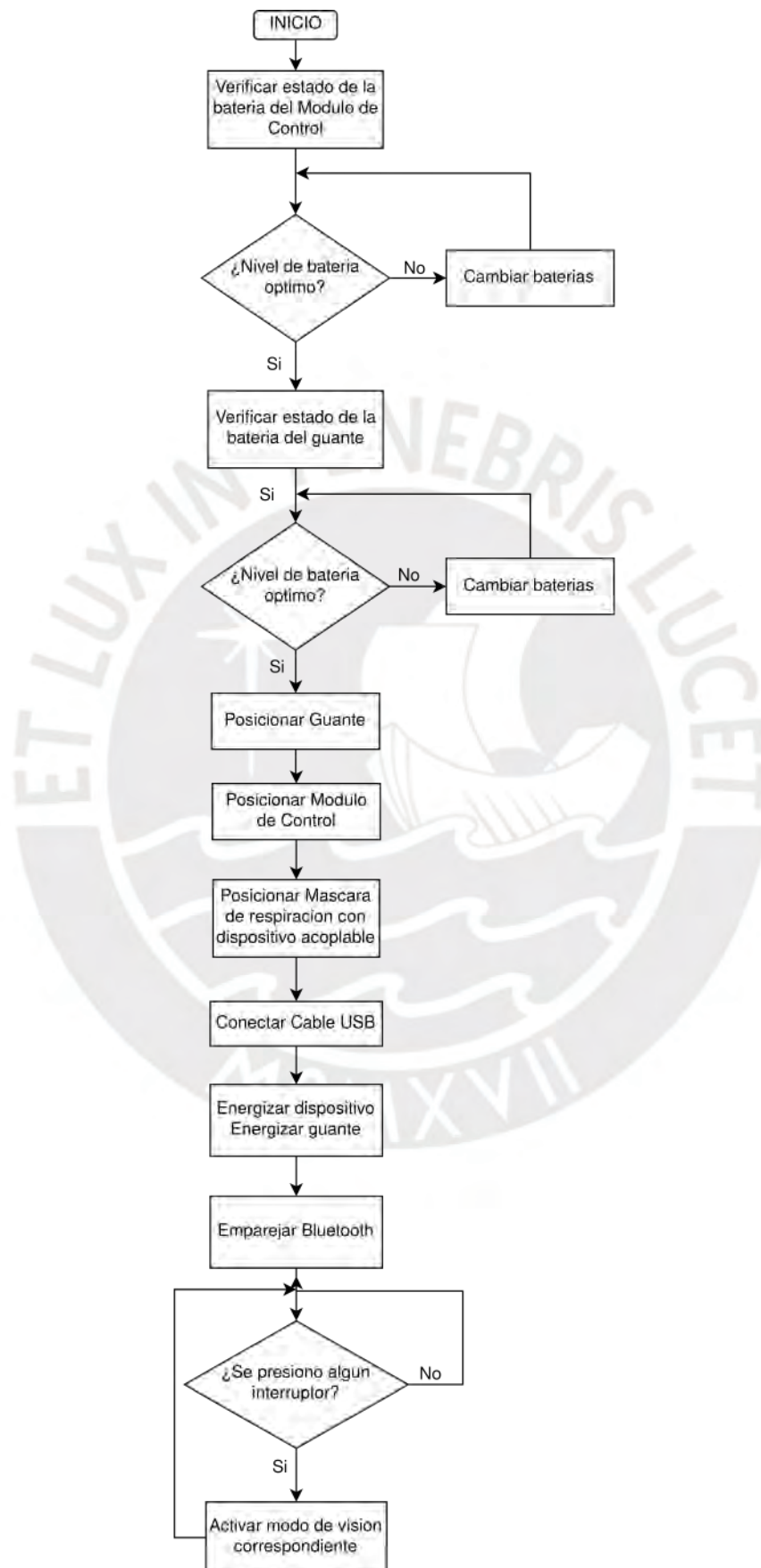


FIGURA 3.2: Diagrama de operaciones
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Sistema Propuesto

El sistema consta de dos principales componentes: El dispositivo acoplable con su modulo de control y el guante de interacción, ambas mostrados en las FIGURAs 3.3 y 3.4.

En la primera FIGURA, se observa una vista general del sistema de visión acoplado a la mascara de respiración. Debido a que los lentes de realidad aumentada son de una dimensión mayor al espacio existente entre la cara del bombero y la mascara de respiración, se optó por realizar cortes a esta ultima y colocar acoples que a su vez sirven como una extensión de la mascara de respiración, además, al tener esta una geometría complicada, es posible que los acoples diseñados no correspondan exactamente a la misma forma, permitiendo así el ingreso de humo, por lo que se empleará selladores de altas temperaturas para un cierre hermético y seguro.

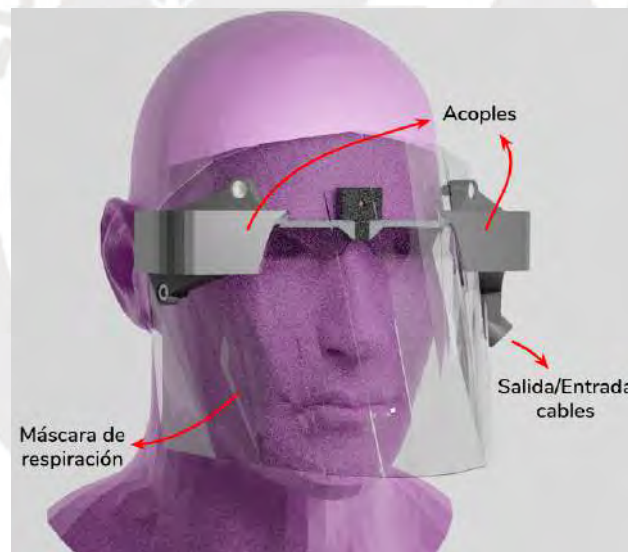


FIGURA 3.3: Bombero con el dispositivo acoplable

En la FIGURA 3.4a, se muestra un boceto inicial del guante de los bomberos y como una parte de la electrónica, que está ubicada dentro de una carcasa, se conecta a los interruptores magnéticos mediante hilo conductor, mientras que a su derecha, en la FIGURA 3.4b se muestra la carcasa diseñada en la posición donde iría ubicado junto a una sección de muñeca a escala real, esto con el fin de mostrar que será un componente pequeño que no dificultará la labor de los bomberos.

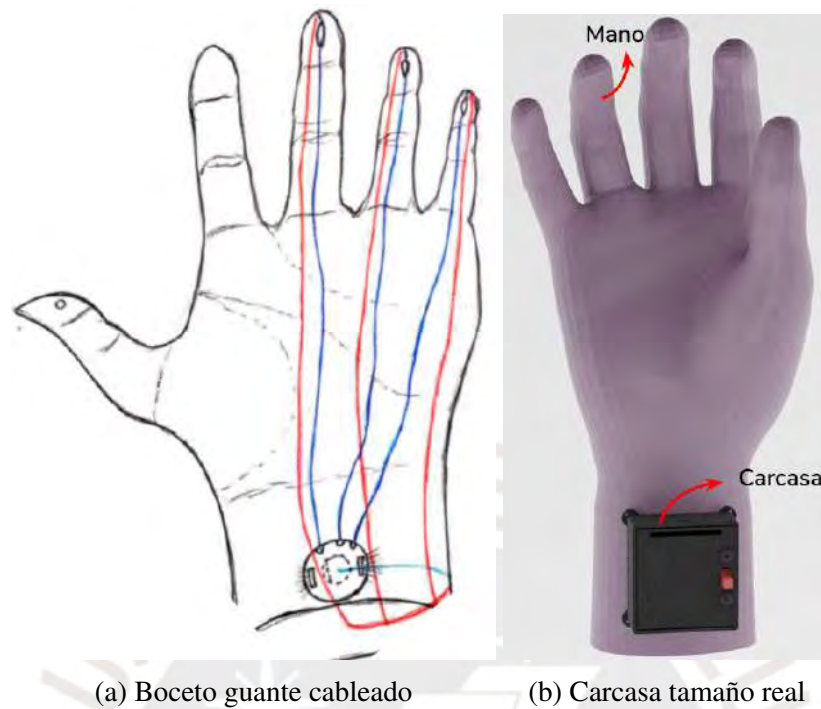


FIGURA 3.4: Guante de interacción
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Diseño Electrónico

En esta sección se describirá el diseño electrónico del guante de interacción y del dispositivo acoplable, comenzando con la arquitectura de hardware de ambos para luego continuar de manera independiente con sus respectivos componentes.

3.5.1. Arquitectura de Hardware

Se muestra en la FIGURA 3.5 que ambos dispositivos cuentan con batería propia, interruptor de encendido y regulador de voltaje. Además, en la FIGURA 3.5a se observa que las señales de la cámara térmica y la información recibida por Bluetooth se dirige al procesador para luego ser enviados a la interfaz de realidad aumentada. Por otro lado, en la FIGURA 3.5b, el microcontrolador recibe las señales de los interruptores y las envía al dispositivo acoplable mediante comunicación Bluetooth.

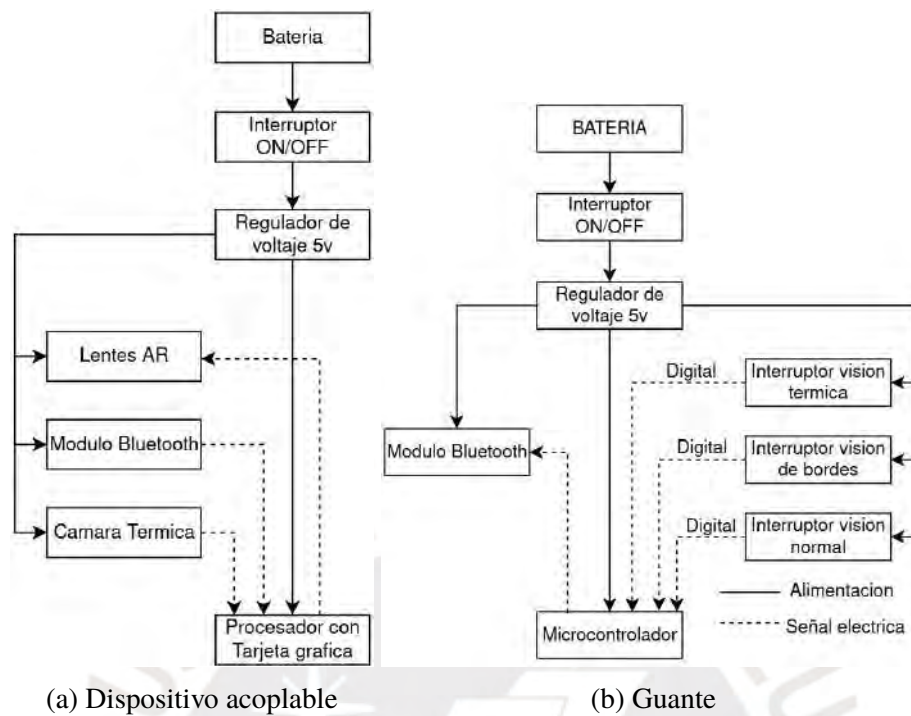


FIGURA 3.5: Arquitectura de Hardware
Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Electrónica Guante de interacción

A continuación se describirán los componentes electrónicos del guante de interacción diseñado respetando la arquitectura de hardware. Se puede revisar a mayor detalle la selección de componentes en el Anexo C y una prueba de funcionamiento en el Anexo E.

Modo de interacción

El guante de interacción consta de tres interruptores magnéticos posicionados dentro del guante a la altura de la yema de los dedos, por tanto, estos deben ser de tamaño reducido y livianos, ya que no se desea incomodar al usuario. Adicionalmente, se prefiere que no requieran de circuitería adicional para funcionar con un campo magnético, por lo que se eligió los interruptores magnéticos REED cuyas características se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1: Características interruptor REED

	Interruptor REED
Imagen	
Alimentación	-
Temperatura de trabajo	-40° a +125°C
Circuitería adicional	No
Dimensiones	14 x 2 mm.
Características	Soporta ambientes hostiles y vibraciones.
Precio	20 x \$ 8.99

Fuente: Elaboración Propia.

El campo magnético que se mencionó previamente será necesario para accionar los interruptores, en la tabla 3.2 se muestra las características del imán encargado de generar dicho campo hecho de neodimio y de clase SH, eso significa que su temperatura de trabajo puede llegar hasta los 150°. Este imán se ubicará en la segunda capa de protección del guante, exactamente en la yema del dedo pulgar y fijado ahí mediante técnicas de costura.

Tabla 3.2: Características imán N40SH

	Imán N40SH
Imagen	
Material	Neodimio
Dimensiones	3/8 x 1/4 ft.
Precio	\$ 1.09


Fuente: Elaboración Propia.

Microcontrolador

La función del microcontrolador es la de leer el estado de los interruptores e interactuar con el modulo de comunicación Bluetooth para enviar esta información al dispositivo acoplable. Actualmente, existen microcontroladores que incluyen comunicación Bluetooth y además, son de tamaño muy reducido; debido a que solo existen tres posibles estados, se requieren tres pines

digitales de entrada, así pues la mejor opción sería el microcontrolador Beetle ESP32, cuyas características se muestran en la tabla 3.3, este cuenta con cuatro pines digitales de propósito general, conexión Bluetooth, Bluetooth Low Energy y Wi-Fi.

Tabla 3.3: Características Beetle ESP32


	Beetle esp32
Imagen	
Alimentación	3.3 a 6.5V
Temperatura de trabajo	-10° a +85°C
Pines digitales	4
Comunicación	Wifi, bluetooth, BLE
Dimensiones	35 x 34 mm.
Precio	\$ 14.90

Fuente: Elaboración Propia.

Energía

Según la hoja de datos, el Beetle ESP32 se alimenta con un voltaje entre 3.5V y 6.5V con una corriente de trabajo de 40mA, por lo que se necesita una batería de dimensiones reducidas que pueda brindar esa cantidad de energía, para ello se optó por dos baterías CR2032 conectadas en serie, ya que en esta disposición brindan 6V y 210mA por hora, equivalente a 5h de autonomía. Sus características se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Características batería CR2032

	CR2032
Imagen	
Voltaje nominal	3V
Carga nominal	210mAh
Dimensiones	20 x 3.2 mm

Fuente: Elaboración Propia.

Conductor

Debido a que se este dispositivo eléctrico se acopla al guante de los bomberos, las conexiones

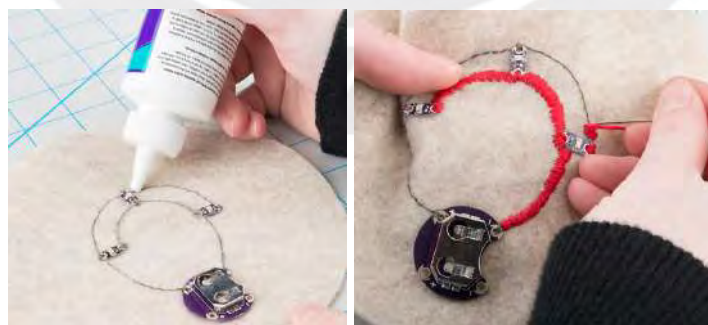
deben ser lo suficientemente flexibles para no incomodar los movimientos propios de la mano, pero sin llegar a generar malos contactos en sus terminales, así pues, se decidió emplear hilos conductores. Estos, a comparación de los cables metálicos de cobre, poseen una resistencia eléctrica considerable que aumenta según la distancia entre sus terminales y el grosor del hilo; apesar que las distancias donde se ubican los componentes en el guante no superan los 20cm., se usará el hilo mas grueso posible para evitar una caída considerable en el voltaje de funcionamiento de 3.3V. Las características del hilo conductor se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Características Hilo Conductor

	Hilo Conductor SparkFun
Imagen	
Material	Fibra de acero inoxidable
Resistencia	28 Ohms/ft
Precio	12 m. x \$ 4.5

Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo, el hilo conductor va perdiendo tensión con el paso del tiempo debido a los movimientos que experimenta, esto puede causar falsos contactos e incluso cortocircuitos, por lo que la empresa SparkFun (SPARKFUN, 2015) propone diversos métodos para afrontar este inconveniente, desde el uso de pegamentos flexibles hasta técnicas mas avanzadas de costura como se muestran en la FIGURA 3.6.



(a) Fijación con pegamento

(b) Ajuste técnica Zigzag

FIGURA 3.6: Métodos de aislamiento

Todos los componentes mencionados se conectan tal como se muestra en la FIGURA 3.7

usando el hilo conductor seleccionado, además, como los pines del microcontrolador se pueden configurar en modo entrada con un “pull-down” interno de 4.7k, los interruptores REED se pueden conectar directamente sin circuitería adicional.

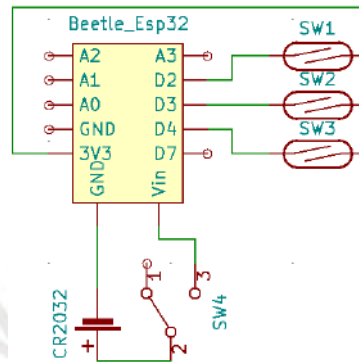


FIGURA 3.7: Conexiones guante de interacción
Fuente: Elaboración propia.



3.5.3. Electrónica Dispositivo acoplable

Se describirán los componentes electrónicos del dispositivo acoplable según la solución ganadora.

Cámara térmica

La resolución mínima para diferenciar las formas y bordes para un procesamiento de imágenes es de 120x160, además, debido a que este componente estará dentro de la máscara de respiración, no soportará una temperatura mayor a 45° grados. Dadas estas restricciones, se seleccionó la cámara térmica Lepton 3.5 con su respectivo módulo PureThermal Mini, módulo que permite conectar la cámara a cualquier dispositivo mediante USB. Las características de ambos son mostradas en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Características cámara térmica


	Lepton 3.5	PureThermal Mini
Imagen		
Arreglo Térmico	120x160	-
Cuadros por segundo	9 Hz	-
Rango de medición	-10° a +450°C	-
Radiometría	Si	-
Rango de trabajo	-40° a 80°C	-40° a 80°C
Precio	\$ 199.00	\$ 80.00

Fuente: Elaboración Propia.

Lentes de realidad aumentada

Los lentes de realidad aumentada deben funcionar como un monitor portátil, es decir, que sea posible el poder proyectar en ellos la interfaz generada en el microprocesador. Los lentes Epson Moverio BT-35E permiten retransmitir la imagen y cuentan con un puerto HDMI para conectarlos al dispositivo del cual se desea obtener la imagen. Sus características se presentan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Características lentes de realidad aumentada

	Epson Moverio BT-35E
Imagen	
Visión	Binocular
Interacción con el usuario	Uso de mando externo con touchpad.
Conexion	HDMI y USB-C
Observaciones	Dispositivo orientado a la industria de drones, definido como "display wearable"
Precio	\$ 899.00


Fuente: Elaboración Propia.

Microprocesador

La tarjeta Jetson Nano de Nvidia posee los puertos necesarios, HDMI y USB, para conectar

los lentes de realidad aumentada y la cámara térmica respectivamente, además de ser la opción mas pequeña comparadas a otras de potencia de procesamiento similar. Sin embargo, no cuentan con comunicación Bluetooth por defecto, pero existen diversas formas de añadirle esta característica, ya sea por medio de un USB Dongle o insertando un chip especializado en el conector M2 Key E ubicado debajo del disipador de calor. Otra característica importante es su tarjeta gráfica incorporada, necesaria para el procesamiento de imágenes que realizará la red neuronal a implementar, ya que esta tarjeta permite realizar cálculos de manera mas eficiente, y debido a que se trabajará con una CNN, es posible aprovechar toda la capacidad de esta al paralelizar los procesos, sin embargo, la implementación de esta opción depende del framework a emplear. En la tabla 3.8 se presentan algunas de sus características.

Tabla 3.8: Características Jetson Nano


NVIDIA Jetson Nano	
Imagen	
Comunicación	Ethernet
Tarjeta gráfica	128-core NVIDIA Maxwell
Conexión	HDMI
Dimensiones	100x80x29
Precio	\$ 99.00

Fuente: Elaboración Propia.

Batería

Las baterías a emplear deben ser recargables y principalmente soportar altas temperaturas, por lo que su composición no debe permitir una reacción de combustión. La batería de LiPo-Fe4 satisface estos requerimientos y poseen un voltaje nominal de 3.2V con una corriente de 3300mAh. Sin embargo, para energizar todos los componentes seleccionados es necesario 5V a 5A, considerando el consumo de la Jetson NANO y de los lentes BT-35E mas un factor de seguridad. En la tabla 3.9 se muestran características de la batería y posterior un componente adicional necesario para lograr energizar el sistema.

Tabla 3.9: Características Batería LiFePO4

	LiFePO4
Imagen	
Rango de Temperatura	-20 a 140°C
Voltaje nominal	3.2 V
Corriente nominal	3300 mAh
Densidad Energética	150 Wh/Kg
Recargable	Si
Peligro de Explosión	No

Fuente: Elaboración Propia.

Junto a estas baterías, se emplea el modulo TP5000 mostrado en la FIGURA 3.8. Se decidió agregar este modulo para un manejo mas simple al momento de cargar las baterías, caso contrario, seria necesario desmontar el modulo de control para extraer las baterías y cargarlas por separado.



FIGURA 3.8: Modulo de carga LiPoFe4

Fuente: Elaboración propia.

Elevador de voltaje

Se emplearan dos de la baterías seleccionadas previamente conectadas en paralelo, obteniendo de resultado 3.2V con 6600mAh. Tal como se mencionó, es necesario 5V a 5A y debido a que la autonomía mínima del sistema es de 30 minutos, esto seria 2.5Ah o 12.5Wh en términos de potencia, es decir, a la entrada del elevador del voltaje se necesitaría mínimo 3.2V a 3900mAh, para equilibrar la potencia de entrada y salida, pero dado que se tiene 6600mAh la autonomía seria de aproximadamente 50 minutos.

Para lograr lo mencionado previamente, se usaran dos elevadores de voltaje, uno alimentará a la Jetson Nano y el otro, al modulo Epson. Debido a que consumen 3.5A y 1.5A respectiva-


mente, se seleccionó componentes que excedan ligeramente este valor para evitar problemas de sobrecalentamiento y rendimiento. Estos se presentan en la tablas 3.10 y 3.11.

Tabla 3.10: Características elevador de voltaje 5A

	LIVISN
Imagen	
Voltaje Entrada	3-35 V
Voltaje Salida	5-40 V
Corriente de salida	5A
Eficiencia	94 %
Precio	\$ 6.99

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.11: Características elevador de voltaje 2A

	MT3608
Imagen	
Voltaje Entrada	2-24 V
Voltaje Salida	5-28 V
Corriente de salida	2A
Eficiencia	93 %
Precio	\$ 2.59

Fuente: Elaboración Propia.

Por ultimo, los componentes que forman parte del dispositivo acoplable incluyendo el modulo de control, son componentes que cumplen una función en si mismo, así pues, para conectarlos se necesita el protocolo de comunicación que permitan el intercambio de información entre estos. En la FIGURA 3.9 se detalla que componentes se conectan y mediante que protocolo, además, las dos opciones subrayadas son las únicas que se realizaran de manera manual por el bombero.

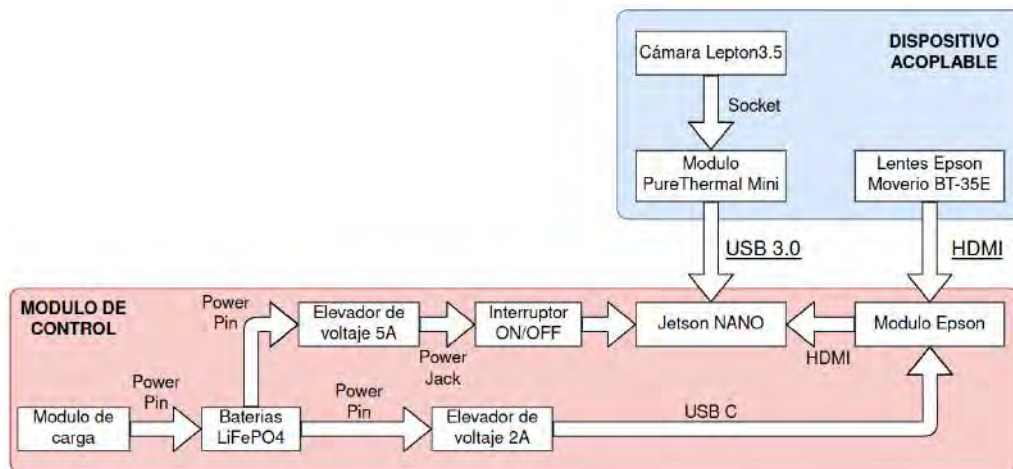


FIGURA 3.9: Conexiones módulo de control.

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Diseño Mecánico

En esta sección se mostrará el diseño mecánico del sistema comenzando con el guante de interacción, para posteriormente mostrar el dispositivo acoplable y el módulo de control que servirá de conexión para ambos.

3.6.1. Materiales

El material a emplear para los componentes diseñado en esta sección es Policarbonato. Actualmente usado en la máscara de respiración y el visor del casco de los bomberos, debido a su balance entre Densidad, ya que es un material ligero, que no genera mayor fatiga muscular al bombero; Resistencia al impacto, debido que soporta golpes y caídas sin comprometer su integridad ni la del usuario; y Resistencia Térmica, puesto que no es un material inflamable y soporta altas temperaturas antes de comenzar a dañar su composición, tal como se muestra en el informe de AZO Materials donde mencionan también otras propiedades relevantes (AZO-Materials, 2005). Se han extraído las propiedades mas relevantes de este material para ser mostrados en la FIGURA 3.10, además, se presenta la valoración que le otorga esta institución como material en diversas circunstancias.

Property	Minimum Value (S.I.)	Maximum Value (S.I.)	Units (S.I.)	Minimum Value (Imp.)	Maximum Value (Imp.)	Units (Imp.)
Density	1.27	1.38	Mg/m ³	79.2836	86.1506	lb/ft ³
Fracture Toughness	4.292	6.683	MPa.m ^{1/2}	3.90592	6.08184	ksi.in ^{1/2}
Hardness	298	396	MPa	43.2213	57.435	ksi
Tensile Strength	124	165	MPa	17.9847	23.9312	ksi
Young's Modulus	13.5	21.4	GPa	1.95801	3.10381	10 ⁶ psi
Glass Temperature	415	431	K	287.33	316.13	°F
Latent Heat of Fusion			kJ/kg			BTU/lb
Maximum Service Temperature	384	399	K	231.53	258.53	°F
Melting Point			K			°F
Minimum Service Temperature	150	200	K	-189.67	-99.67	°F
Specific Heat	1399	1525	J/kg.K	1.08263	1.18013	BTU/lb.F
Thermal Conductivity	0.5101	0.753	W/m.K	0.954924	1.40964	BTU.ft/h.ft ² .F
Thermal Expansion	19.8	33.12	10 ⁻⁶ /K	35.64	59.616	10 ⁻⁶ /°F

(a) Propiedades del policarbonato

Environmental Properties	
	Resistance Factors 1=Poor 5=Excellent
Flammability	4
Fresh Water	5
Organic Solvents	2
Oxidation at 500C	1
Sea Water	5
Strong Acid	3
Strong Alkalis	3
UV	4
Wear	4
Weak Acid	4
Weak Alkalis	3

(b) Valoración

FIGURA 3.10: Informe AZO Materials
Fuente: (AZO-Materials, 2005).

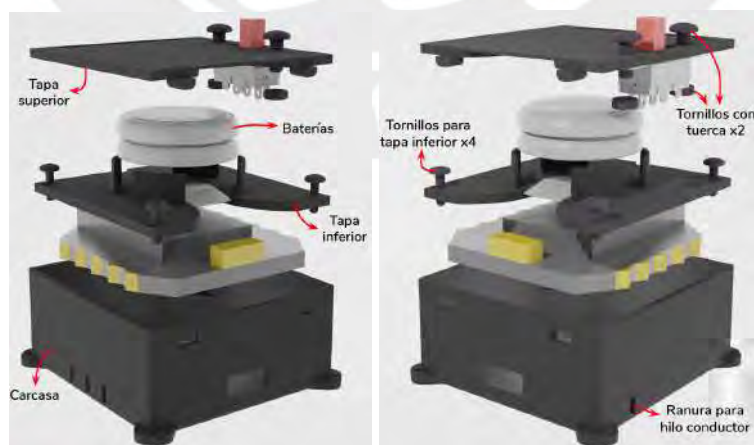
3.6.2. Mecánica Guante de interacción

En la FIGURA 3.11 se muestra la carcasa que albergará el microcontrolador y las baterías del guante de interacción, así como las ranuras por donde pasará el hilo conductor hacia los interruptores magnéticos posicionados en los dedos que servirán para seleccionar el modo de visión deseado. Se muestran también otras ranuras, como la del USB, pensada para que el desarrollador tenga rápido acceso al microcontrolador en caso se desee cambiar las funciones predeterminadas del guante, y las ranuras para los seguros que permiten que la tapa no se salga.



FIGURA 3.11: Carcasa vista isométrica

Una vista de los componentes que se encuentran dentro de la carcasa se presenta en la FIGURA 3.12, donde se aprecia que el microcontrolador está cubierto por una tapa que a su vez funciona de polo positivo para las baterías conectadas en serie, y la tapa superior funciona de polo negativo, ambas irán soldadas a los cables para alimentar al microcontrolador.



(a) Vista explosiva izquierda (b) Vista explosiva derecha

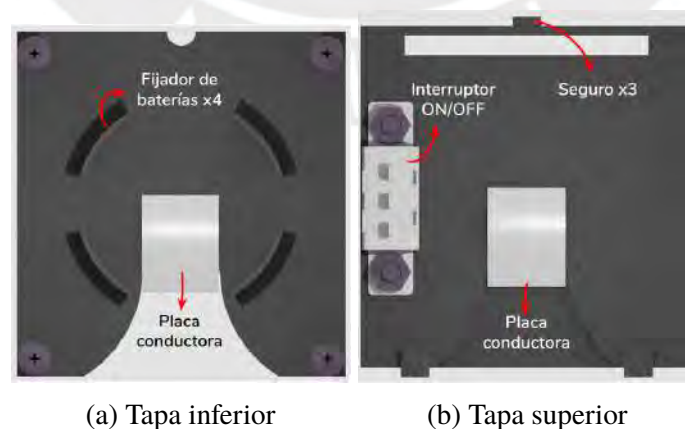
FIGURA 3.12: Carcasa vista explosiva

A continuación se verá cada componente a detalle, comenzando por como esta ubicado el Beetle ESP32 en la carcasa. En la FIGURA 3.13 se observa que el interior de esta simula la forma del microcontrolador, aprovechando las esquinas para albergar los agujeros que servirán de ajuste para los cuatro tornillos M1.6x5 según la norma ISO 4017 de la tapa inferior, encargada de proteger al Beetle ESP32. Las ranuras triangulares es donde se pasará el hilo de nomex para fijar la carcasa al guante, que irá ubicado en la segunda capa de protección del guante.



FIGURA 3.13: Interior carcasa
Fuente: Elaboración propia.

Las tapas inferior y superior se muestran en la FIGURA 3.14, se aprecia que la primera posee unas ranuras circulares que evitaran que las baterías se muevan y que el interruptor de encendido se ubica en la tapa superior, ajustado por dos tornillos M1.6x5 adicionales asegurado con tuercas. Esta tapa posee tres seguros para evitar que se separe de la carcasa de manera no deseada.



(a) Tapa inferior

(b) Tapa superior

FIGURA 3.14: Tapas
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se realizó un análisis de elementos finitos con el fin de conocer el comportamiento de la carcasa de 1.2mm de espesor cuando la fuerza de la mano actúa sobre ella. Según un estudio sobre las fuerzas ejercidas por las manos de hombres y mujeres (Escalonada, 2009) se supo que la fuerza máxima de agarre tipo pinza es de 15N, por lo que se considero un factor de seguridad de dos, entonces el análisis se realizó con una fuerza de 30N obteniendo una deformación máxima de 0.5mm en las zonas de color que se muestran en la FIGURA 3.15.

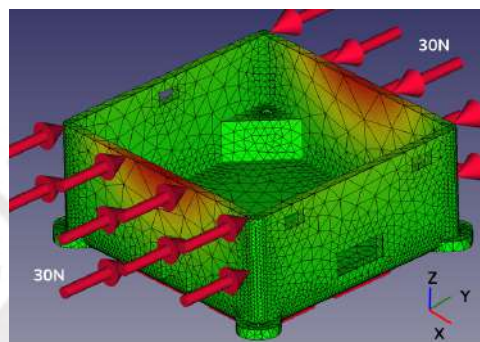


FIGURA 3.15: Análisis carcasa guante
Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Mecánica Dispositivo acoplable

En la FIGURA 3.3 se presentó una vista general de este sistema. A continuación, en la FIGURA 3.16 se muestra que la cámara térmica con su respectivo modulo se ubican dentro de una carcasa y esta se acopla a los lentes de realidad aumentada Epson Moverio BT-35E por un encaje a presión.

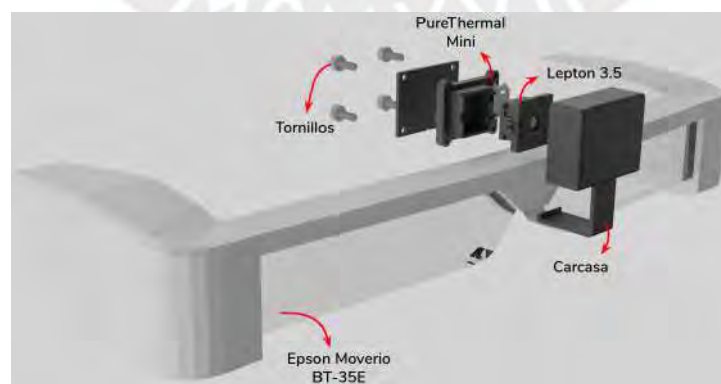


FIGURA 3.16: Unión cámara térmica con lentes AR
Fuente: Elaboración propia.

Se observa con mejor detalle la carcasa mencionada previamente en la FIGURA 3.17, ya que se puede apreciar como irán posicionados los componentes, así como las ranuras correspondientes para el lente de la cámara y del puerto USB necesario para transmitir la imagen captada, todo esto asegurado por cuatro tornillos Allen M1.6x5. Adicionalmente, se visualiza el clip de ajuste, este será necesario para una mejor fijación en el acople a presión propuesto.

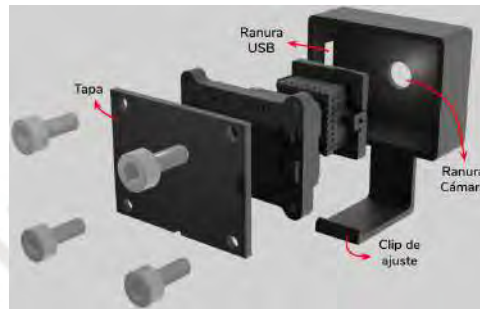


FIGURA 3.17: Carcasa cámara térmica
Fuente: Elaboración propia.

En la FIGURA 3.18 se observan los cortes realizados a la máscara de respiración y como en esos espacios se colocan dos acoples que se ajustan a la máscara mediante tornillos Allen M6x10, así pues, estos acoples respetan la geometría curva de la máscara lo mejor posible, ya que un pequeño espacio entre estos puede causar el ingreso de humo directamente al bombero provocando graves lesiones respiratorias y visuales.



FIGURA 3.18: Sistema acoplado a la máscara de respiración
Fuente: Elaboración propia

Como se menciono previamente, el diseño del acople mostrado puede dar lugar a filtraciones de humo, dada la curva de la mascara de respiración, por lo que es necesario asegurar la hermeticidad con un sellador de alta temperatura como el mostrado en la FIGURA 3.19 que soporta hasta 1200°C



FIGURA 3.19: Sellador altas temperaturas
Fuente: Nodulo.

Finalmente, se observa que el acople izquierdo mostrado en la FIGURA 3.18 posee una ranura circular adicional que no se encuentra presente en su contraparte derecha, tal como se aprecia en la FIGURA 3.20 encerrada en un círculo. Mediante dicha ranura pasarán los cables de la Lepton 3.5 y de los Epson Moverio BT-35E hacia el modulo de control. Los cables pasaran por el interior una manguera de 3/4" de silicona de alta temperatura reforzada que soporta hasta 180°C en cuyo extremo poseerá un adaptador para manguera de 3/4 con salida roscada 1/2" NPT. Este adaptador será asegurado mediante una abrazadera a la manguera, mientras que su salida roscada se ajusta al inserto roscado hembra de 1/2" NPT ubicado en la ranura circular. Estos elementos se muestran en la FIGURA 3.21



FIGURA 3.20: Ranura roscada del acople izquierdo.
Fuente: Elaboracion Propia



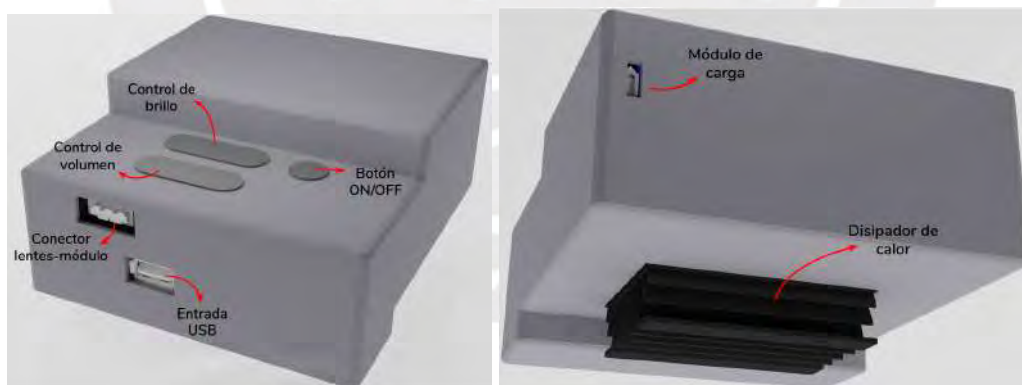
(a) Manguera de altas temperaturas (b) Adaptador de manguera (c) Inserto roscado

FIGURA 3.21: Componentes adicionales

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Módulo de control

El módulo de control permite al bombero acceder a dos puertos que son los necesarios para conectar la cámara térmica y los lentes de realidad aumentada, además, cuenta con botones que permiten acceder a las funciones por defecto de los Epson Moverio. El diseño considera que el disipador de calor de la Jetson Nano este posicionado al exterior del módulo, para evitar una concentración de calor al interior y en la parte posterior se ubica el módulo de carga para las baterías, tal como se muestra en la FIGURA 3.22.



(a) Vista isométrica

(b) Vista posterior

FIGURA 3.22: Modulo de control

Fuente: Elaboración propia.

En la FIGURA 3.23 se presenta una vista explosiva con los componentes electrónicos al interior del módulo de control.

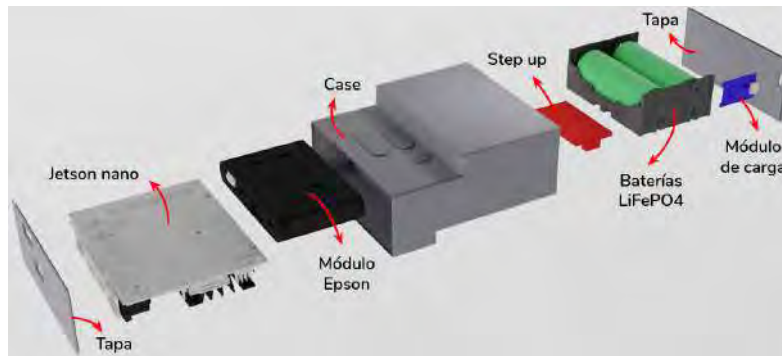


FIGURA 3.23: Vista explosiva
Fuente: Elaboración propia.

El modulo de control posee dos tapas, tal y como se señalaron en la figura previa. En la FIGURA 3.24 se muestra que estas se unen a la carcasa mediante cuatro tornillos posicionado a los extremos, en total se emplean ocho tornillos M3x5 con cabeza de botón.



FIGURA 3.24: Vista isométrica
Fuente: Elaboración propia.

Sobre la distribución interna de los componentes en el modulo de control, esta se muestra en la FIGURA 3.25a. El microprocesador JetsonNano tiene dos grados de libertad restringidos por la carcasa mediante la ranura de salida de su disipador de calor, que se muestra con mayor detalle en la FIGURA 3.22b y, debido a la posición del resto de componentes y las dimensiones de la carcasa, se restringe el grado de libertad del conjunto en el eje Z. Sin embargo, aun puede existir movimiento relativo entre componentes, por lo que se hará uso de la cinta estructural doble contacto GPH-110 mostrada en la FIGURA 3.25b, esta cinta se emplea en algunos casos reemplazando soldaduras y tornillos, debido a su fuerte adhesión, resistencia a esfuerzos cortantes y su capacidad de soportar hasta 230°C.

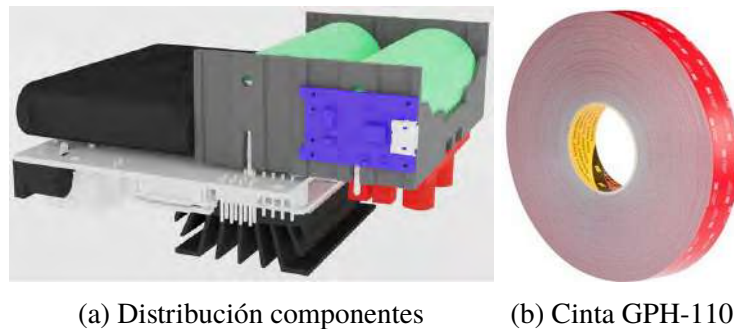


FIGURA 3.25: Fijación de componentes

Fuente: Elaboración propia.

Se ha podido observar en las imágenes previas que existen ranuras en la carcasa del módulo de control que permitirán la conexión a los puertos necesarios, sin embargo, también permite el ingreso de sustancias líquidas. Por esta razón, se propone un sellado hermético, recubriendo las caras internas de las ranuras con caucho de silicona de alta temperatura capaz de soportar hasta 200°C y además posee propiedades ignífugas, esta se muestra en la FIGURA 3.26.



FIGURA 3.26: Silicona altas temperaturas

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, con el fin de conocer el comportamiento de la carcasa cuando se le somete a fuerzas de agarre tipo pinza con un factor de seguridad de dos, se fijaron los lados laterales y se aplicó dicha fuerza tal como se aprecia en la FIGURA 3.27. Se obtuvo una deformación máxima de 0.55mm, por lo que se puede garantizar la integridad del módulo de control con un espesor de 1.5mm.

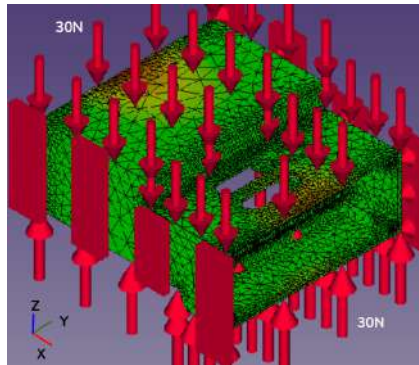


FIGURA 3.27: Análisis modulo de control
Fuente: Elaboración propia.

3.7. Interfaz de Usuario

En esta sección se desarrollara la interfaz de usuario, comenzando con una vista general de dicha interfaz y la posición de los elementos fijos, tales como la duración de oxígeno y la temperatura del lugar. Posteriormente se mostrará el procesamiento de imágenes realizado para obtener la detección de bordes en un espacio donde algoritmos clásicos como el de Canny o Sobel, no serian de mucha utilidad.

3.7.1. Diseño

El diseño de la interfaz de realidad aumentada deben posicionar los elementos fijos de modo que no interfieran con el rango visual del bombero, además de no convertirse en un agente distractor. Es con este criterio que en el diseño de la interfaz mostrada en la FIGURA 3.28 se colocó la duración del oxígeno y la temperatura del lugar en las esquinas superior izquierda y derecha respectivamente.

La duración del tanque de oxígeno mostrada sera de 30 minutos, tiempo que dura el equipo de respiración autónomo SPIROMATIC 4515 a 40 LPM. Además, debido a que se esta empleando una cámara térmica con radiometría, es posible captar la temperatura en diferentes puntos (píxeles) de la imagen mostrada, por lo que la temperatura del lugar mostrada será un promedio de dichas temperaturas captadas.

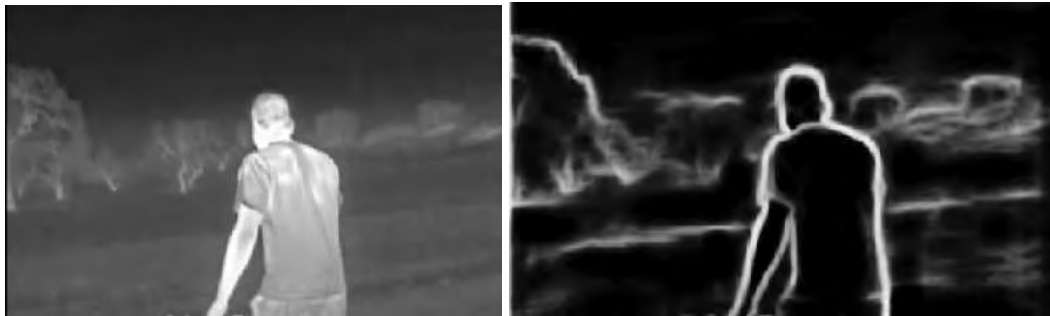


FIGURA 3.28: Mockup Interfaz AR
Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Procesamiento de imágenes

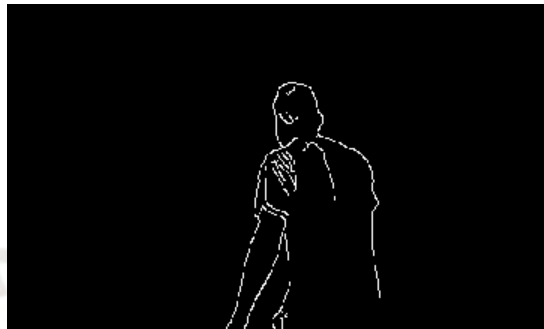
Al inicio de esta sección se mencionó que los algoritmos clásicos de detección de bordes no son de mucha utilidad para este sistema, debido a que estos funcionan calculando la gradiente para detectar cambios en la intensidad de los píxeles y de esta manera detectan si es un borde o no, sin embargo, esto solo se enfoca en cambios locales y no hay una comprensión de la imagen en sí, es por eso que se aplican técnicas como el umbral de histeresis para que el algoritmo entienda si está tratando con los bordes de un mismo objeto o no. En general estos algoritmos requieren mucha intervención del programador, ajustando valores manualmente y validando, así pues, funcionan mejor en un espacio controlado.

En el año 2015, profesores de la Universidad de California en Estados Unidos desarrollaron un nuevo método, superando los inconvenientes mencionados previamente, cuyo algoritmo fue denominado Holistically-Nested Edge Detection (HED) y se presenta en la figura 3.29 junto al algoritmo Canny, haciendo una comparativa de como se desempeñan ambos algoritmos.



(a) Imagen térmica escala gris

(b) Imagen con algoritmo HED



(c) Imagen con algoritmo Canny

FIGURA 3.29: Comparación de algoritmos

Fuente: Elaboración propia.

El algoritmo HED es una red neuronal recortada con una estructura similar a las redes VGG, tiene su propio framework y está pre-entrenada con imágenes RGB-D de espacios interiores como sala, comedor, dormitorios, salones de clase, etc., sin embargo, aunque el pre-entrenamiento no consideró imágenes térmicas, su desempeño mejora según la paleta de colores que se utilice, tal como se muestra en la FIGURA 3.30, donde se aplicó este algoritmo a cuatro imágenes iguales y solo se cambió la escala de colores que mostraba la imagen térmica. así pues en la FIGURA 3.30a apenas es posible visualizar la esquina posterior mientras que en la FIGURA 3.30c esta esquina aparece muy notoria, incluso las arrugas de la ropa.

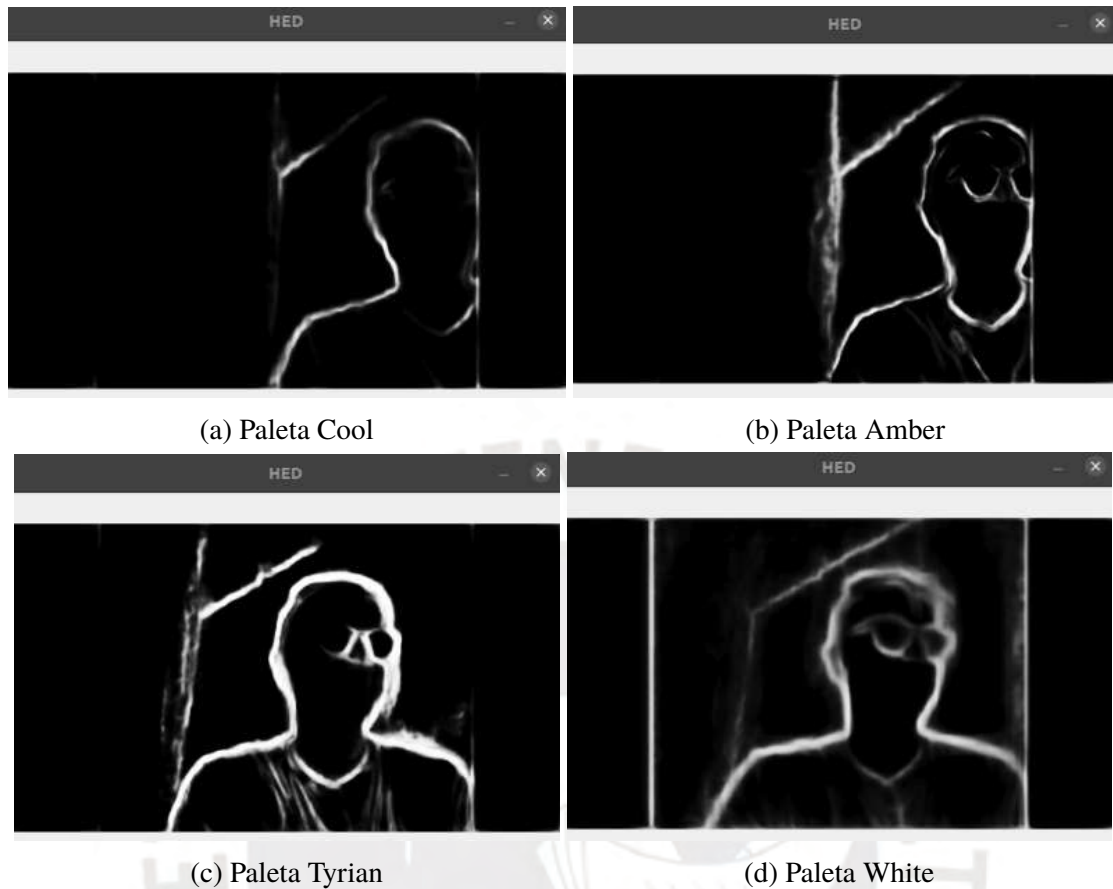


FIGURA 3.30: Resultados diferentes paleta de colores
Fuente: Elaboración propia.

Para explicar este algoritmo de manera resumida, HED cuenta con cinco capas convolucionales y conecta la ultima capa de cada una de ellas con la salida, para calcular el error propagarlo a la siguiente capa. Esto se puede apreciar en la FIGURA 3.31, además, en la ultima capa convolucional se elimina las capas de agrupación máxima o conocidas en ingles como max-pooling, así como las capas clasificadoras totalmente conectadas, logrando así reducir el tiempo de procesamiento por imagen en 0.4 segundos (Xie y Tu, 2015).

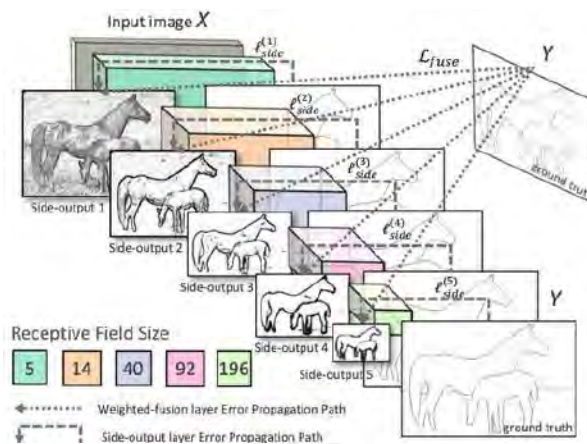
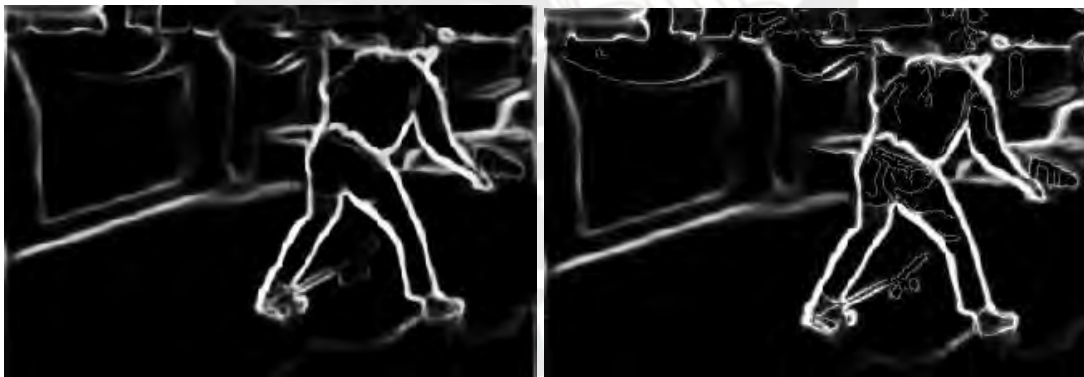


FIGURA 3.31: Representación HED

Fuente: (Escalonada, 2009).

Finalmente, luego de realizar pruebas con el algoritmo HED, se encontró situaciones donde el algoritmo de Canny lograba detectar bordes que pueden complementar al algoritmo previo para un mejor entendimiento de la forma del objeto que se esta capturando, por lo que, el algoritmo de visión a utilizar será una suma ponderada de estos dos algoritmos, logrando los resultados mostrados en la FIGURA 3.32 y FIGURA 3.33.



(a) HED

(b) HED ponderado

FIGURA 3.32: Comparación de resultados

Fuente: Elaboración Propia

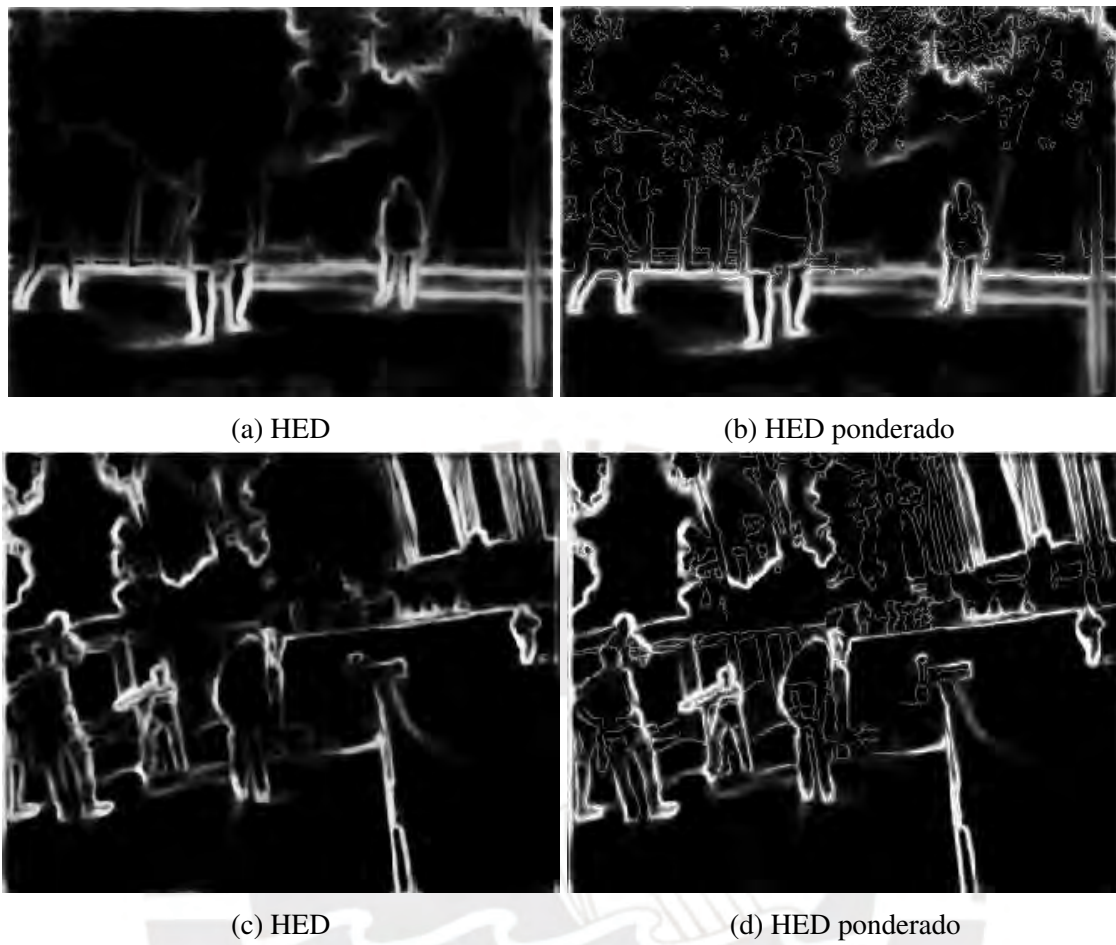


FIGURA 3.33: Comparación de resultados
Fuente: Elaboración propia.

Se observa como al implementar la suma ponderada de esos dos algoritmos, el nivel de detalle captado aumentó considerablemente, siendo posible visualizar pequeños detalles como los bolsillos del pantalón, hojas de los arboles, hasta las ruedas del skate, así también se hizo casi nula la dependencia de la paleta de colores.

Capítulo IV

Costos

En este capítulo se definirán los costos de los componentes electrónicos, mecánicos y demás, en dolares americanos (\$). Los precios de la parte electrónica se han obtenido de diversos proveedores que hay en la web, por lo que es necesario agregar un costo adicional por costo de envío, por otro lado, para los costos de fabricación se uso la herramienta de 3D HUBS que permite obtener una cotización instantánea adjuntando el diseño 3D, proceso de fabricación y material. De igual manera del caso previo, se debe considerar un adicional por costos de envío.

A continuación, en la tabla 4.1 se presenta el costo total del proyecto con un valor de 4978.15 dolares americanos y en las secciones siguientes se cubrirá a detalle esta información.

Tabla 4.1: Costo del proyecto

Detalle	Costo (\$)
Guante de interacción	530.15
Dispositivo acoplable	3200
Ingeniería	1248
TOTAL	4978.15

4.1. Costo Guante

La tabla 4.2 muestra la cantidad de componentes a utilizar, el precio por unidad en dolares y el costo de cada componente. A la suma de este costo se le denomina subtotal, al cual se le agrega un 30% para considerar los costos adicionales previamente mencionados.

Tabla 4.2: Costo electrónica Guante de interacción

	Cantidad	Precio/unidad (\$)	Costo (\$)
Interruptor REED	3	0.5	1.5
Iman N40SH	1	1.09	1.09
Beetle ESP32	1	14.9	14.9
Bateria Cr2032	2	0.6	1.2
Hilo Conductor	1	4.5	4.5
-	-	Subtotal	23.19
-	-	TOTAL	30.15

Para calcular los costos de fabricación se empleó la herramienta de la empresa 3D HUBS, a la cual se le adjunta el archivo 3D y, en base a trabajos similares en forma y dimensiones, estima el precio. Además, se puede elegir el proceso de fabricación, dentro de los cuales se tiene impresión 3D, mecanizado CNC, trabajo en chapa y recientemente incorporando la inyección de plástico. En la FIGURA 4.1 se muestra el costo de fabricación, este valor es redondeando y colocado en la tabla 4.3, donde además se presenta el costo de diseño y de ensamble que serán realizados por el autor de este trabajo.




Description	Material	Details	Price p/part	Qty	Price
 case_guante.step 40.9 x 42.6 x 17.2 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$182.42	1	\$182.42
 tapa_inferior.step 6.5 x 34.3 x 36.0 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$116.23	1	\$116.23
 tapa_superior.step 34.3 x 37.1 x 3.0 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$98.43	1	\$98.43
Shipping (Accessories & other)					\$0.00
Subtotal					\$397.08
Total					\$397.08

FIGURA 4.1: Cotización 3D HUBS

Se agrego un adicional del 25 % debido a que la cotización de 3D HUBS ya incluye precio de envío, por lo que con esto se pretende cubrir algunos gastos administrativos no considerados.

Tabla 4.3: Costo mecánica Guante de interacción

	Horas	Precio/Hora (\$)	Costo (\$)
Costo de Mecanizado	-	-	400
-	-	Subtotal	400
-	-	TOTAL	500

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Costo Dispositivo Acoplable

En la tabla 4.4 se colocan los precios y cantidades de todos los componentes electrónicos para el dispositivo acoplable, incluyendo el modulo de control. Al igual que en el caso previo, se agregó un 30% adicional para costos de envío.

Tabla 4.4: Costo electrónica Dispositivo acoplable

	Cantidad	Precio/unidad (\$)	Costo (\$)
Lepton3.5	1	199	199
PureThermal Mini	1	80	80
Epson BT-35E	1	899	899
Jetson Nano	1	99	99
Bateria LiFePO4	2	8.15	16.3
Modulo TP5000	1	2.6	2.6
Step-Up 5A	1	6.99	6.99
Step-Up 2A	1	2.59	2.59
-	-	Subtotal	1305.48
-	-	TOTAL	1700

Fuente: Elaboración Propia

En las FIGURAS 4.2 y 4.3 se presenta la cotización de 3D HUBS. Los mensajes de color naranja que aparecen son recomendaciones de diseño para un mejor resultado en el mecanizado.




Description	Material	Details	Price p/part	Qty	Price
 modulo_tapa2.step 1.5 × 104.0 × 46.0 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$69.15	1	\$69.15
 modulo_tapa1.step 1.5 × 104.0 × 41.0 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$93.98	1	\$93.98
 case_modulo.step 111.0 × 104.0 × 54.5 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$269.80	1	\$269.80
Shipping (incl. customs duties)					\$0.00
Subtotal					\$432.93
Total					\$432.93

FIGURA 4.2: Cotización 3D HUBS





Description	Material	Details	Price p/part	Qty	Price
 tapa_case.step 1.0 × 20.5 × 15.5 mm Manufacturable with PC	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$63.76	1	\$63.76
 case_camara.step 16.0 × 22.5 × 29.5 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$118.94	1	\$118.94
 acople_izquierda.step 76.0 × 64.9 × 97.9 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$308.77	1	\$308.77
 acople_derecha.step 76.0 × 63.0 × 68.6 mm Review manufacturability feedback	CNC machining PC As machined (Ra 3.2µm, 126µin) Color: Black (Default)	Standard tolerances No threads No description No attachments	\$261.76	1	\$261.76
Shipping (incl. customs duties)					\$0.00
Subtotal					\$753.23
Total					\$753.23

FIGURA 4.3: Cotización 3D HUBS

Se sumó y redondeo ambas cotizaciones cuyo valor se asigno en la fila de “Costo de Mecanizado” que se muestra en la tabla 4.5. Como se menciona previamente, se agrego un 25 % adicional para gastos administrativos que suelen aparecer en procesos de importación.

Tabla 4.5: Costo mecánica Dispositivo acoplable

	Horas	Precio/Hora (\$)	Costo (\$)
Costo de Mecanizado	-	-	1200
-	-	Subtotal	1200
-	-	TOTAL	1500

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Costo de Ingeniería

Finalmente, se agregan los costos del trabajo de diseño en ingeniería tanto para el guante de interacción como para el dispositivo acoplable, además se considera la programación del microcontrolador Beetle ESP32, del microprocesador Jetson Nano, así como el desarrollo de la interfaz de realidad aumentada, esto se muestra en la tabla 4.6. Al monto resultante se le agrega un %20 adicional, ya que las horas propuestas de trabajo son aproximadas y están sujetas a variaciones.

Tabla 4.6: Costo mano de obra

	Horas	Precio/Hora (\$)	Costo (\$)
Diseño Guante de interacción	24	10	240
Diseño Dispositivo acoplable	40	10	400
Programación Beetle ESP32	5	10	50
Programación Jetson Nano	15	10	150
Programación Interfaz AR	20	10	200
-	-	Subtotal	1040
-	-	TOTAL	1248

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

- Durante el desarrollo del presente trabajo se encontró dos empresas en el mundo que intentan resolver la misma problemática de manera muy similar, por lo que se analizó sus ventajas y desventajas, destacando las mejoras posibles para ser considerados en la solución propuesta adaptándola a la realidad peruana, así pues, se aprovechó los equipos y materiales existentes, como es el caso del guante de interacción que se basó en su guante de protección y al repetir esta acción con el resto de componentes se pudo llegar a la solución óptima evitando emplear componentes de gran tamaño y costo elevado, y satisfaciendo todas las exigencias del sistema propuesto.
- Se desarrolló un sistema de visión mejorado con la combinación de dos algoritmos. El resultado es capaz de captar detalles tan finos como las arrugas de la ropa, superando en algunos aspecto a los sistemas de visión desarrollados por las empresas previamente mencionadas, además, se logró que el bombero interactúe con el, brindándole mas herramientas para desplazarse en condiciones de baja o nula visibilidad durante 50 minutos aproximadamente. Para disminuir el impacto sobre el desempeño físico del bombero durante ese tiempo por implementar este proyecto, se empleó material de baja densidad como el policarbonato, que a su vez posee buena propiedades térmicas y al impacto.
- Pese a que la relación tecnología-precio del sistema propuesto, en ocasiones, no permitía reducir mucho mas el tamaño de los componentes y por ende se tuvo que modificar

equipamiento propio del bombero, como fue el caso de la mascaró de respiración, se tomó medidas que aseguren que estas modificaciones no pongan en peligro la vida de los bomberos ni de las víctimas durante su función de búsqueda y rescate. Por esta razón, fue necesario el uso de elementos adicionales que soporten altas temperaturas como selladores, empaquetaduras, pegamentos, entre otros, con el fin de proteger al bombero y al sistema contra polvo, humo, agua y demás elementos que puedan aparecer durante una emergencia.

- En los dispositivos comerciales de realidad aumentada es común encontrar una función de activación por voz usando un asistente virtual como Alexa o Cortana, los cuales requieren de conexión Wi-Fi a internet, sin embargo, basado en la experiencia de usuarios de los dispositivos previamente mencionados, se sabe que el control por comandos de voz es una mejora a nivel de interacción humano-maquina. Aplicarlo al presente trabajo significaría que el bombero puede navegar entre los distintos modos de visión aun teniendo ambas manos ocupadas, ya que solo necesitaría mencionar los comandos deseados, lo cual no ocurre con el uso del guante. Por otro lado, para poder llevar acabo esta funcionalidad, se requiere conseguir o seleccionar un modelo lingüístico en español capaz de reconocer los comandos, así como evaluar factores del ambiente como el nivel de ruido dentro de un incendio.
- Con el objetivo de personalizar el sistema a cada usuario, se podría implementar un modelo entrenable para obtener una duración confiable y aproximada del nivel de oxígeno en el tanque en tiempo real para cada bombero, ya que actualmente se basan en la duración promedio según la capacidad del tanque y basta con que esto difiera un par de minutos del tiempo real en un solo miembro del equipo para poner en riesgo toda la misión. Este tema es muy amplio, ya que dentro de los parámetros a considerar está la capacidad pulmonar del bombero, su condición física, el nivel de oxígeno en la sangre y como este varia en situaciones de estrés, entre otros factores. Gran parte de estos factores se pueden obtener mediante pruebas médicas, entre las que se puede mencionar: Prueba de esfuerzo cardiopulmonar y espirometría.

Bibliografía

- 3M™ Scott™. (2020). *Sight In-Mask Thermal Imager*. Descargado de <https://bit.ly/2WqpafG>
- AZO-Materials. (2005). *Polycarbonate, supplier data by Goodfellow*. Descargado de <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=2008>
- BBC. (2020). *Saving Lives | Innovation At The Edge | BBC StoryWorks*. Descargado de <https://bbc.in/2LoUPHY>
- Cesar Otero. (2019). *Wifi y drones: La tecnología del primer camión de bomberos eléctrico (Inf. Téc.)*. Betech. Descargado de <https://bit.ly/2Lphsfq>
- CGBVP. (2019a). *Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú*. Descargado de <https://bit.ly/2LmbzQg>
- CGBVP. (2019b). *Estadísticas de Emergencias a nivel nacional del CGBVP*. Descargado de <https://bit.ly/35ShSEC>
- CNN. (2017, jun). *Acusarán de esclavitud a quienes encerraron a jóvenes que murieron calcinados en el Lima*. Lima. Descargado de <https://cnn.it/3cnfI28>
- Diario Correo. (2019, dec). *Resumen 2019: los incendios más devastadores del año*. Lima. Descargado de <https://bit.ly/2AeYGVH>
- El Comercio Perú. (2016, nov). *Incendios en Lima han dejado 25 muertos en lo que va del año Lima*. Lima. Descargado de <https://bit.ly/2AeY9mF>
- El Comercio Perú. (2019, oct). *Bomberos héroes: hace tres años Alonso Salas, Raúl Sánchez y Eduardo Jiménez murieron cumpliendo su labor*. Lima. Descargado de <https://bit.ly/2SWoRHm>
- EPSON. (2020). *MOVERIO - Smart Glasses*. Descargado de <https://bit.ly/2yI0t5x>

- Escalonada, L., Naranjo. (2009). Parametros de Normalidad en Fuerzas de Prension de Mano en Sujetos de Ambos sexos de 7 a 17 Años de Edad. En *Revista chilena de pediatria*.
- FireRescue. (2012). *New SCBA technology gives firefighters 'bionic' vision* (Inf. Téc.). Savannah: Autor. Descargado de <https://bit.ly/3briTEX>
- FLIR. (2020). *Longwave Infrared (LWIR) | FLIR Thermal Camera Cores*. Descargado de <https://bit.ly/365HMHV>
- Google. (2020). *Google Glass Enterprise edition 2*. Descargado de <https://www.google.com/glass/start/>
- La República. (2016, oct). *Seis bomberos han muerto en los últimos 10 años en Perú*. Lima. Descargado de <https://bit.ly/2xY6H0G>
- North. (2020). *Explore Focals*. Descargado de <https://bit.ly/2yRaeye>
- ONEMI-Chile. (2016). Incendios Estructurales. En *Previene, informate y prepárate*. Descargado de <http://www.onemi.cl/incendios-estructurales/>
- Opgal. (2018a). *Intro to IR (Part 2): Cooled vs. uncooled cameras, sensitivity, resolution, frame rate*. Descargado de <https://bit.ly/2WqHPIo>
- Opgal. (2018b). *Intro to IR (Part 3): Sensitivity, resolution and frame rate*. Descargado de <https://bit.ly/2L1N5GX>
- Peru21. (2018, may). *Bomberos han atendido más de 4,000 incendios en lo que va del año*. Lima. Descargado de <https://bit.ly/2WR84Xc>
- Qwe.wiki. (2020). *Thermal imaging camera*. Descargado de <https://bit.ly/2Z0B9T3>
- Riquelme Patricio. (2018). *Guía de Autoinstrucción 7. Técnicas de Búsqueda y Rescate en Incendios*. Academia Nacional de Bomberos de Chile. Descargado de http://www.anb.cl/documentos_sitio/2314_guia_busq_rescate.pdf
- Rosenbauer. (2019). *Casco de bomberos HEROS-titan*. Descargado de <https://bit.ly/2WG01wg>
- Sam Sattel. (2019). *WiFi vs. Bluetooth: Wireless Electronics Basics* (Inf. Téc.). California: Autodesk. Descargado de <https://autode.sk/2T2bk0T>
- Sandy Evangelista. (2016, may). *Augmented reality for firefighters* (Inf. Téc.). Canton de Vaud: EPFL. Descargado de <https://bit.ly/2L1EZxR>

- SPARKFUN. (2015). *Insulation Techniques for e-Textiles*. Descargado de <https://learn.sparkfun.com/tutorials/insulation-techniques-for-e-textiles>
- Tekla S. Perry. (2020). *CES 2020 Trends: Get Ready for Holographs, Augmented Reality, and Smart Bathrooms* (Inf. Téc.). Silicon Valley: IEEE Spectrum. Descargado de <https://bit.ly/2SZirXZ>
- Vuzix. (2020). *Vuzix Blade | Powering Solutions*. Descargado de <https://bit.ly/2LtXY9n>
- Xie, S., y Tu, Z. (2015). Holistically-Nested Edge Detection. En *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision*.

