



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Infraestructura de comunicación lpc basada en lora para monitoreo de robots de búsqueda y rescate

Guaño Ochoa, Miguel Angel

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática

Trabajo de titulación previo la obtención del título de Ingeniero en Sistemas e Informática

Ing. Marcillo Parra, Diego Miguel

8 de agosto del 2020



### Document Information

Analyzed document	Tesis-Guaño-Miguel.pdf (D77880429)
Submitted	8/18/2020 2:26:00 AM
Submitted by	Diego Marcillo Parra
Submitter email	dmmarcillo@espe.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	dmmarcillo.espe@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>TESISFINAL_MEJIAALEXANDER_22012020.docx</b> Document TESISFINAL_MEJIAALEXANDER_22012020.docx (D62843203)		1
<b>SA</b>	<b>FloresEdwin_Tesis.docx</b> Document FloresEdwin_Tesis.docx (D63480381)		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uloylea.es/bitstream/handle/20.500.12412/2223/TFG_MANDRADES.pdf">https://repositorio.uloylea.es/bitstream/handle/20.500.12412/2223/TFG_MANDRADES.pdf</a> Fetched: 7/24/2020 9:21:47 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.dragino.com/products/lora/item/106-lora-gps-hat.html">https://www.dragino.com/products/lora/item/106-lora-gps-hat.html</a> Fetched: 8/18/2020 2:26:00 AM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.gestionderiesgos.gob.ec/la-secretaria-de-gestion-de-riesgos-acreditara-...">https://www.gestionderiesgos.gob.ec/la-secretaria-de-gestion-de-riesgos-acreditara-...</a> Fetched: 8/18/2020 2:26:00 AM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/amp/150223814-Facultad-de-ingenieria-y-ciencias-aplicadas.html">https://docplayer.es/amp/150223814-Facultad-de-ingenieria-y-ciencias-aplicadas.html</a> Fetched: 1/16/2020 10:39:17 PM		1

Firma:



**Marcillo Parra, Diego Miguel**  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Infraestructura de comunicación lpc basada en lora para monitoreo de robots de búsqueda y rescate**” fue realizado por el señor **Guaño Ochoa, Miguel Angel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de octubre de 2020

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**DIEGO MIGUEL  
MARCILLO  
PARRA**

Marcillo Parra, Diego Miguel

C.C.: 1710802925



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Guaño Ochoa Miguel Angel**, con cédula de ciudadanía n°0605030600 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Infraestructura de comunicación lpc basada en lora para monitoreo de robots de búsqueda y rescate** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 12 de octubre de 2020**

.....  
**Guaño Ochoa Miguel Angel**

C.C.: 0605030600



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **Guaño Ochoa, Miguel Angel**, con cédula de ciudadanía n°0605030600, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Infraestructura de comunicación lpe basada en lora para monitoreo de robots de búsqueda y rescate** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 12 de octubre de 2020**

.....  
**Guaño Ochoa Miguel Angel**

C.C.: 0605030600

### Dedicatoria

Para mi madre Enriqueta, mi padre Ángel y mi hermano Wilmer, aquellos que de una u otra manera me apoyaron en esta cruzada, por su amor y paciencia. Y para Dios por guiarme por el camino correcto.

### Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme tener en mi vida tantas maravillosas personas.

A mis padres por sus enseñanzas y consejos, a mi hermano por su apoyo en la carrera.

A mis compañeros de carrera, del Club de Software, amigos y amigas, por enseñarme a que la familia no solamente es de sangre.

A mis profesores que impartieron con tanto afán su conocimiento, mi director de tesis Diego Marcillo por su apoyo y paciencia, en este último paso para ser ingeniero.

A los cómplices en el desarrollo de este proyecto llamado tesis.

Finalmente, a las personas por las cuales me cruce por quizá solamente un minuto o una hora de clase, porque de alguna manera influenciaron en quien soy.

## Índice de contenidos

Hoja de resultados de la herramienta Urkund .....	2
Certificado del Director.....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de tablas .....	12
Índice de figuras .....	13
Resumen .....	14
Abstract.....	15
Capítulo I.....	16
Introducción.....	16
Antecedentes.....	16
Problemática.....	17
Justificación.....	18
Objetivos.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos .....	19
Alcance.....	19
Hipótesis .....	21
Capítulo II.....	22
Estado del arte y marco teórico.....	22
Estado del arte .....	22
Planteamiento de la revisión de literatura .....	22
Conformación del grupo de control y extracción de palabras relevantes para la investigación .....	22
Construcción y afinación de cadenas de búsqueda.....	24
Selección de estudios.....	25
Elaboración del estado del arte .....	27
Características del estado del arte .....	32
Marco teórico .....	33
Planteamiento del marco teórico. ....	33
Hipótesis de investigación y selección de variables. ....	33

Categorización de variables.....	34
Tecnologías de la información y comunicación.....	35
Redes de telecomunicaciones .....	37
LPWAN .....	40
Búsqueda y rescate urbano .....	45
Operaciones de búsqueda y rescate urbano .....	45
Movilización.....	46
Operación .....	47
Desmovilización .....	48
Post-Misión.....	48
Robots de búsqueda y rescate urbano .....	49
Capítulo III.....	51
Diseño de la arquitectura .....	51
Introducción.....	51
Herramientas .....	52
Hardware .....	52
Software.....	55
Android Things .....	55
Rasbian.....	55
Lenguajes de programación.....	56
Python.....	56
JavaScript .....	57
C++ .....	57
Servicios de la Nube.....	57
FireBase.....	57
Time Data Base .....	58
Firestore.....	59
Functions.....	60
Hosting.....	61
DISEÑO Y ARQUITECTURA .....	62
Características del diseño .....	62
Capa de presentación .....	64
Capa de persistencia.....	66
Capa de lógica de negocio. ....	66

	10
Esquema de arquitectura.....	69
Seguridad .....	70
Capítulo 4 .....	71
Validación de la arquitectura .....	71
Introducción.....	71
Herramientas .....	71
Herramientas de monitoreo .....	71
Herramientas de red.....	72
Entorno de prueba.....	72
Entorno General.....	72
Entorno Físico .....	73
Procesos.....	74
Casos de prueba.....	74
Generalidades.....	74
Pruebas en torno a la comunicación entre la capa lora y el robot.....	74
Resultados.....	75
Elementos a analizar.....	75
RTT .....	75
Porcentaje de carga de servicios en la base de tiempo real.....	76
Transferencia de datos. ....	76
Almacenamientos de datos. ....	76
Resultados de las pruebas basadas en la comunicación de los nodos, en base a su distancia.....	76
Pruebas a una distancia de 100 metros.....	77
Pruebas a una distancia de 200 metros.....	78
Pruebas a una distancia de 200 metros.....	79
Pruebas a una distancia de 290 metros.....	81
Rendimiento de los servicios en la nube. ....	82
Firebase (Real Time Database) .....	82
Firestore.....	84
Cloud Functions. ....	85
Capítulo V.....	87
Análisis e interpretación de resultados .....	87
Introducción.....	87
Análisis de resultados. ....	88

	11
Análisis a la configuración de los robots.....	88
Análisis del control y monitoreo.....	88
Análisis de los servicios en la nube.....	89
Utilidad en operaciones de búsqueda y rescate urbano.....	90
Limitaciones.....	91
Capítulo VI.....	93
Conclusiones y líneas de trabajo futuro.....	93
Conclusiones.....	93
Líneas de trabajo futuro.....	94
Bibliografía.....	96

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Preguntas de Investigación .....	20
<b>Tabla 2</b> Grupo de Control .....	23
<b>Tabla 3</b> Artículos Presentados .....	26
<b>Tabla 4</b> Comparacion Sigfox-LoRa-NB-iot.....	44

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Características del estado del arte.....	33
<b>Figura 2</b>	Red de telecomunicaciones.....	37
<b>Figura 3</b>	LPWAN.....	40
<b>Figura 4</b>	El ciclo de respuesta USAR internacional.....	46
<b>Figura 5</b>	Raspberry pi 3 modelo B.....	53
<b>Figura 6</b>	Modulo ESP32.....	54
<b>Figura 7</b>	Pantalla principal de Raspbian.....	56
<b>Figura 8</b>	Consola de FireBase.....	58
<b>Figura 9</b>	Real time data base console.....	59
<b>Figura 10</b>	Firestore Console.....	60
<b>Figura 11</b>	Consola de Functions para Firestore.....	61
<b>Figura 12</b>	Consola de Hosting de FireBase.....	62
<b>Figura 13</b>	Infraestructura de comunicación y monitoreo.....	63
<b>Figura 14</b>	Robots registrados.....	64
<b>Figura 15</b>	Interface de control para robots.....	65
<b>Figura 16</b>	Historial de acciones del robot.....	65
<b>Figura 17</b>	Capa de presentación.....	65
<b>Figura 18</b>	Capa de persistencia.....	66
<b>Figura 19</b>	Capa de lógica de negocio.....	67
<b>Figura 20</b>	Capa LoRa.....	68
<b>Figura 21</b>	Capa de Robots.....	69
<b>Figura 22</b>	Infraestructura del todo el sistema de monitoreo y comunicación de robots.....	70
<b>Figura 23</b>	Entorno General de Pruebas.....	73
<b>Figura 24</b>	comunicación entre el robot, la nube y el cliente web.....	75
<b>Figura 25</b>	Prueba con un radio de 100 metros.....	77
<b>Figura 26</b>	Resultados con una distancia de 100 metros.....	77
<b>Figura 27</b>	Prueba con un radio de 200 metros.....	78
<b>Figura 28</b>	Resultados con una distancia de 200 metros.....	79
<b>Figura 29</b>	Prueba con un radio de 200 metros.....	80
<b>Figura 30</b>	Resultados con una distancia de 200 metros.....	80
<b>Figura 31</b>	Prueba con un radio de 290 metros.....	81
<b>Figura 32</b>	Resultados con una distancia de 290 metros.....	82
<b>Figura 33</b>	Almacenamiento de la Base de datos.....	83
<b>Figura 34</b>	Datos descargados de la Base.....	83
<b>Figura 35</b>	Uso de la base de datos.....	84
<b>Figura 36</b>	Lecturas de datos en Firestore.....	85
<b>Figura 37</b>	Escrituras en Firestore.....	85
<b>Figura 38</b>	Innovaciones de Cloud Functions.....	86

## Resumen

Los desastres naturales siempre han sido uno de los mayores riesgos que tiene la humanidad, de la mano de problemas industriales e incluso fallas humanas, para esto hemos desarrollado un conjunto de estrategias para minimizar los daños y las vidas perdidas, entre estas tenemos el uso robots en operaciones de búsqueda y rescate. Sin embargo, el área de trabajo de los robots se ve limitada por las tecnologías. En este trabajo se propone una infraestructura para sistema de control y monitoreo de robots de búsqueda y rescate, usando tecnologías lora como medio de comunicación. En el primer capítulo se describe el entorno de los robots en las operaciones de búsqueda y rescate. Posteriormente se plantea la problemática, objetivos, alcance, hipótesis y su justificación. El segundo capítulo consiste en una revisión literaria enfocada en la comunicación de robots de búsqueda y rescate en IOT (Internet of things), y la categorización de variables. El capítulo 3 corresponde al diseño de la infraestructura (hardware y software) y de sus componentes. En el capítulo 4 se encuentra la validación de la infraestructura, los casos de prueba empleados y los resultados con su respectivo análisis. En el capítulo 5 se enuncian una revisión de los resultados y cuál sería su utilidad en una operación de búsqueda y rescate. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones a las que se llegaron, además de recomendaciones para trabajos futuros.

### Palabras clave

- **OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE**
- **LORA**
- **ROBOT**

## **Abstract**

Natural disasters have always been one of the greatest risks that humanity has, along with industrial problems and even human failure, for this we have developed a set of strategies to minimize damage and loss of life, among these we have the use of robots in search and rescue operations. However, the area of work of the robots is limited by the technologies. In this work we propose an infrastructure for control system and monitoring of search and rescue robots, using lora technologies as a means of communication. The first chapter describes the environment of the robots in search and rescue operations. Then, it is proposed the problem, objectives, scope, hypothesis and its justification. The second chapter consists of a literature review focused on the communication of search and rescue robots in IOT (Internet of things), and the categorization of variables. Chapter 3 corresponds to the design of the infrastructure (hardware and software) and its components. In chapter 4 is the validation of the infrastructure, the test cases used and the results with their respective analysis. Chapter 5 presents a review of the results and their usefulness in a search and rescue operation. Finally, chapter 6 presents the conclusions reached, as well as recommendations for future work.

### **Key words**

- **SEARCH AND RESCUE OPERATIONS**
- **LORA**
- **ROBOT**

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

Los desastres naturales siempre han sido uno de los mayores riesgos que tiene la humanidad (Center for Disease Control and Prevention, 2019), de la mano de problemas industriales e incluso fallas humanas. Se necesitan estrategias eficientes, para minimizar el número de muertos, heridos y los daños materiales.

Entre las estrategias tenemos las operaciones de búsqueda y rescate, proceso en el cual se busca salvar el mayor número de vidas humanas en situaciones de desastre. En estas operaciones los rescatistas deberán enfrentar situaciones inesperadas y en muchos de los casos poner su vida en riesgo, para esto se tienen tácticas e INSARAG como organización internacional que ofrece guías de cómo responder a escenarios como estructuras colapsadas, incendios, terremotos, tsunamis etc., (FERNÁNDEZ, 2015).

Otra manera de salvar vidas es mediante las predicciones, medidas de contención, estas permitirían alertar a los habitantes y evacuar las zonas antes de que acontezca el desastre, sin embargo, un desastre no tan fácilmente predecible. Por lo cual se crearon tácticas de respuesta, como tomar una foto satelital para deducir como se encuentra el territorio afectado (Satellite Imaging, 2017). Sin embargo, el ser humano sigue limitado, por sus capacidades físicas como la resistencia a la temperatura, radiación etc., por esto una de las más nuevas estrategias de rescate y con

prometedores resultados corresponde a la implementación de robots, drones o vehículos no tripulados (BOHÓRQUEZ, 2004).

El desastre nuclear que ocurrió el 2011 en Fukushima ocasionado por un Tsunami, es un claro ejemplo de la utilidad de estas maquinarias, estas permitieron el acceso zonas de la planta donde la radiación afectaría en más de una forma a los humanos, (Eiji Nagatani, 2011), recabando datos del estado de la central nuclear.

Un robot tiene acceso donde una persona o un perro no podrían, y así obtener información clave (temperatura, humedad, nivel de radiación, fotos, audio) para ayudar a las tareas de salvamento, maximizando el número de personas salvadas y minimizando los daños materiales. lo convierte en una alternativa viable para implementar estrategias de búsqueda y rescate, aun si no se desea emplear solamente máquinas para la operación, podemos usarlas para mapear la zona, crear mapas 3D, que nos permitan tomar las mejores decisiones de como primar la vida de las personas (Álvarez, 2019).

### **Problemática**

Los robots representan una gran ayuda en las operaciones de búsqueda y rescate, lamentablemente aun con toda la tecnología que disponemos, la movilidad y el tiempo de uso del robot sigue limitado por la batería que este dispone, y el área de despliegue por el alcance de su infraestructura de comunicación.

Se han realizado una gran cantidad de soluciones, buscando para crear una red de más amplia, mediante una wifi red ad-hoc <sup>1</sup> entre los diferentes robots. Definir

---

<sup>1</sup> ad-hoc: red mediante los robots empleando wifi para transmitir información.

grupos de robots que al entrar en contacto nuevamente con la zona de cobertura de la red compartan la información obtenida, desarrollar nuevas propuestas de envío de información (protocolo).

### **Justificación**

Cada año ocurren una gran cantidad de desastre, estos pueden ser naturales o industriales. Causando muertes y daños materiales. Estas situaciones siempre son mitigadas mediante operaciones de búsqueda y rescate, donde el principal objetivo es salvar vidas. Las estrategias de salvación nos permiten crear un escenario más esperanzador, sin embargo, existen lugares donde los humanos no pueden tener acceso o es demasiado peligroso para los rescatistas (Álvarez, 2019).

Durante las últimas décadas se han realizado una gran cantidad de avances tecnológicos, uno de ellos es los robots, drones o vehículos no tripulados usados en las operaciones de rescate, estos nos permiten tener acceso a más lugares y recabar información clave para salvar vidas. El robot debería primarse en recoger datos y salvar, no en procesarlos, para esto se emplea la nube o un nodo central, por lo que la comunicación entre los robots es esencial. Si bien es cierto se han realizado diversas soluciones aún requiere una implementación más amplia y de menos consumo de energía (Agapiou, 2015). Así nace la motivación de esta investigación que tiene como objetivo desarrollar una infraestructura basada en Lora para robots de búsqueda y rescate. De esta manera es factible reducir el consumo de energía de las maquinarias (aumentando el tiempo uso) y extender el área de búsqueda. Como

resultado de la investigación obtendremos una infraestructura de comunicación para robots de búsqueda y rescate, de largo alcance y poco consumo de energía.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar una red de comunicación empleando tecnología LoRa que permita el control y monitoreo de robots de búsqueda y rescate, para aumentar el área de operación de los robots.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación preliminar acerca de los métodos propuestos para comunicación entre robots, en situaciones de desastres.
- Realizar un estudio referente a las herramientas, metodologías, y métodos de comunicación propuestos para robots de búsqueda y rescate.
- Desarrollar una infraestructura basado en LoRa para robots de búsqueda y rescate
- Validar la arquitectura de comunicación mediante pruebas de QoS, para conocer su rendimiento y limitaciones.

### **Alcance**

En esta investigación se realizará la implementación de Lora como tecnología de comunicación entre el sistema y el robot a la arquitectura para control y monitoreo de robots de búsqueda y rescate planteada por (Mejía, 2020), permitiendo aumentar el rango de cobertura del robot para el envío y recepción de datos. Para lograrlo este se limitará al

desarrollo de un prototipo que aplique esta arquitectura. Para delimitar de una mejor manera se plantea una serie de preguntas de investigación, asociadas a cada objetivo específico, tal y como muestra la tabla 1.

**Tabla 1.**  
*Preguntas de Investigación*

Objetivo específico	Pregunta de investigación
<b>Realizar una investigación preliminar acerca de los métodos propuestos para comunicación entre robots, en desastres.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. ¿Cuáles son los métodos empleados para la comunicación entre robots?</li> <li>b. ¿Qué limitaciones presentan los métodos empleados para comunicación entre robots?</li> </ul>
<b>Realizar un estudio referente a las herramientas, metodologías, y métodos de comunicación propuestos para robots de búsqueda y rescate.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. ¿Qué propuestas se plantean para la comunicación entre robots de búsqueda y rescate?</li> <li>b. ¿Cuáles son los componentes esenciales que contiene una infraestructura de comunicación para robots de búsqueda y rescate?</li> </ul>
<b>Desarrollar una infraestructura basado en LoRa para robots de búsqueda y rescate</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. ¿Cuáles son los componentes esenciales que contiene una infraestructura LoRa para comunicación?</li> <li>b. ¿Qué recomendaciones presenta los casos de éxito de arquitecturas basadas en LoRa para la propuesta?</li> </ul>

**Objetivo específico****Pregunta de investigación**

**Validar la arquitectura de comunicación mediante pruebas de QoS, para establecer las diferentes limitaciones y rangos de operación aceptables.**

- a. ¿cuál es el rendimiento, velocidad, latencia y disponibilidad de la arquitectura?
- b. ¿Qué limitaciones tiene la arquitectura propuesta?

**Hipótesis**

Una Infraestructura para la comunicación entre robots para operaciones de búsqueda y rescate basada en LoRa, consume menos energía, tiene una mayor área de cobertura y permite un mayor tiempo de uso de los robots.

## **Capítulo II**

### **Estado del arte y marco teórico**

#### **Estado del arte**

El análisis para el estado de arte se centró en la comunicación de robots de búsqueda y rescate basado en IOT (Internet of things), primeramente, se realizó una revisión de literatura inicial a base de la guía propuesta por (M. J. Escalona, 2007). Para llevar esto a cabo se realizó las siguientes fases:

#### **Planteamiento de la revisión de literatura**

Antes de realizar la búsqueda se planteó una revisión de la problemática, gracias a esta se logró obtener un contexto determinado para realizar las búsquedas científicas. Mediante esto se presentó un objetivo claro en conjunto a las diversas preguntas de investigación, orientando la investigación al problema, finalmente se definió el criterio de inclusión y exclusión.

#### **Conformación del grupo de control y extracción de palabras relevantes para la investigación**

Según (Kai Petersen, 2008) una de las bases para una buena investigación es determinar los artículos de partida, por otra parte, eliminar aquellos que no abarca completamente el fin de la búsqueda. Mediante esto se llevó a cabo la selección del grupo de control.

Se hizo uso de 2 investigadores, y se llegó a un acuerdo de presentar diversos estudios como candidatos para el grupo de control. El mismo que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 2

*Grupo de Control*

Título	Cita	Palabras Clave
<b>Robots as-a-service in cloud computing: Search and rescue in large-scale disasters case study</b>	(Carla Mouradian, 2018)	Cloud Computing, Infrastructure as a Service, Internet of Things, Robot as-a-Service, Search and Rescue, Cloud Robotics, Drones.
<b>IoT and Robotics: A Synergy</b>	(Chowdhury, 2017)	IoT, robotics, Cloud Robotics,
<b>Design and Implementation of Amphibious Smart Rescue Robot</b>	(Jiko, 2016)	robot, IoT, rescue robot
<b>Design and Implementation of Debris Search and Rescue Robot System Based on Internet of Things</b>	(Automatio, 2018)	GPS, Single-chip, WIFI, Android; Rescue Robot, IOT

El grupo de paperas de control consta de 4 ejemplares, de esta manera nos permite tener abarcar los sistemas de control y monitoreo de robots para búsqueda y rescate, y no perdernos , (MD., 2005) , en la gran cantidad de artículos centrados en IOT

(Internet of Things) o netamente en robots , así creamos 2 subgrupos, uno centrado en la comunicación de los robots, y el otro en el uso de la nube o basados en tecnología IOT.

### **Construcción y afinación de cadenas de búsqueda**

Como primera instancia se realizó la búsqueda en base a la comunicación entre robots, pero como resultado obtuvimos un campo demasiado amplio, donde una gran cantidad posibilidades de solución, desde el algoritmo de búsqueda hasta la aplicación de nuevos protocolos, por eso se decidió concretar la búsqueda en robots que empleen Internet de las cosas o la computación en la nube, siendo elementos primordiales de la investigación. Los campos propuestos demostraron ser más nuevos, por lo cual se pudo concretar una cantidad accesible y que permita mejorar la búsqueda y sustentarla.

Con las palabras clave propuestas en el grupo de control se pudo establecer una cadena de búsqueda, la cual queda de la siguiente manera: (((NETWORK) AND (SEARCH) AND (RESCUE)) AND ((ROBOT) OR (ROBOTS) OR (DRONES)) AND ((CLOUD COMPUTING) OR (CLOUD ROBOTICS) OR (INTERNET OF THINGS))). Esta cadena de búsqueda no ofrecía 13 artículos por lo cual se decidió agregar la palabra “COMMUNICATION” como alternativa a “NETWORK”. La nueva cadena de búsqueda queda de la siguiente manera: (((COMMUNICATION) OR (NETWORK)) AND (SEARCH) AND (RESCUE)) AND ((ROBOT) OR (ROBOTS) OR (DRONES)) AND ((CLOUD COMPUTING) OR (CLOUD ROBOTICS) OR (INTERNET OF THINGS)))

Los artículos relacionados a esta índole son limitados por eso se decidió que esta sería la cadena de búsqueda.

### **Selección de estudios**

La cadena se le aplicó a la base digital IEEE Explore, porque Scopus, ACM y Springer no contaban con una cantidad suficiente para realizar la investigación. Se obtuvieron un total de 21 artículos que presentaban relación con el tema propuesto. Además, el grupo de control apareció como un resultado con la cadena de búsqueda seleccionado.

De la cantidad seleccionada se estableció los siguientes filtros:

1. **Fecha de publicación:** Solo analizar artículos que hayan sido publicados desde 2014 en adelante. Esto se lo realiza debido al rápido avance de la tecnología donde estudio antiguos se vuelven obsoletos y soluciones más modernas existen.

Además de estos filtros, se procedió a revisar cada uno de los artículos y sus temáticas, haciendo énfasis en su abstract y conclusión. A base de todo esto, se eligieron 10 artículos representados en la tabla 3.

**Tabla 3***Artículos Presentados*

Código	Título	Cita
<b>EP1</b>	A Study of Robotic Cooperation in Cloud Robotics: Architecture and Challenges	(Chen, y otros, 2018)
<b>EP2</b>	An IoT-Enabled Modular Quadrotor Architecture for Real-Time Aerial Object Tracking	(Coelho, 2015)
<b>EP3</b>	Autonomous Cloud Based Drone system for Disaster Response and Mitigation	(Alex, 2016)
<b>EP4</b>	Internet of Drones	(Mirmojtaba Gharibi, 2016)
<b>EP5</b>	Design of a High-Performance System for Secure Image Communication in the Internet of Things	(Elias Kougianos*, 2016)
<b>EP6</b>	Robots as-a-Service in Cloud Computing: Search and Rescue in Large-scale Disasters Case Study	(Carla Mouradian, 2018)

Código	Título	Cita
EP7	Training and Support system in the Cloud for improving the situational awareness in Search and Rescue (SAR) operation	(Maslowsk, 2014)
EP8	Collab-SAR: A Collaborative Avalanche Search-And-Rescue Missions Exploiting Hostile Alpine Networks	(Rahman, 2018)
EP9	Design and Implementation of Debris Search and Rescue Robot System Based on Internet of Things	(Automatio, 2018)
EP10	Multi Agents to Search and Rescue Based on Group Intelligent Algorithm and Edge Computing	(Tingting Yang, 2018)

### Elaboración del estado del arte

**EP1 (Chen, y otros, 2018) : A Study of Robotic Cooperation in Cloud Robotics: Architecture and Challenges**

Este artículo es un estudio de la arquitectura basada en la nube y sus retos, esta infraestructura permite crear robots con poca capacidad computacional, porque envía los datos de los sensores a los servidores encargados de realizar el procesamiento de imágenes, temperatura, en un centro (Cerebro), que permita tomar decisiones más eficientes y certeras. Sin embargo, aun emplean conexiones en base a Wireless para en envío de información.

### **EP2 (Coelho, 2015) An IoT-Enabled Modular Quadrotor Architecture for Real-Time Aerial Object Tracking**

Se realiza un estudio al empleo de una arquitectura el procesamiento de imágenes empleando vehículos aéreos, estos son muy útiles para reunir información, ya sea de crímenes, inteligencia, fotografías, televisión y más aún en situaciones de desastre, nos permiten un reconocimiento de ambientes, donde posiblemente puede encontrarse una persona con la necesidad de ser rescatada o en una situación que atente contra su seguridad personal. Para crear esta red emplean XBee una forma inalámbrica de comunicación, con un largo alcance los mismo que pueden crear interconexiones de comunicación entre dispositivos, punto-punto, o punto multipunto. Uno de los problemas que se puede encontrar en este estudio es uso eficiente de energía en cortas y largas distancias.

### **EP3 (Alex, 2016) Autonomous Cloud Based Drone system for Disaster Response and Mitigation**

Se presenta un estudio de la viabilidad del uso de vehículos no tripulados con un sistema autónomo en la nube como respuesta en situaciones de desastres, este

modelo que se plante sugiere emplear diferentes tipos de drones con ciertos sensores capaz de integrar los datos obtenidos en los servidores y generar un mapa en 3D. También presenta los diferentes problemas que se obtendrían a realizar, en los cuales se detalla el limitado rango, la robustez de dron, la dinamicidad del ambiente, la compartición de información y entre las más importantes la red de conectividad. Si bien es cierto el modelo propuesto crea un sistema de bajo costo, aún sigue empleando Wireless LAN, limitando el alcance de los drones, dependiendo de las conexiones con el servidor, por ejemplo, si un grupo de drones termina afectado se perderán los datos.

#### **EP4 (Mirmojtaba Gharibi, 2016) Internet of Drones**

Se presenta una arquitectura para controlar drones aéreos en base a las 3 redes existentes (internet, móvil, aérea), comparando los desafíos de cada una y relacionándolas y crean un espacio para solucionarlas. Esta arquitectura propone la división en capas lógicas otorgando a los drones la capacidad de operar en diferentes niveles de aplicabilidad, tanto vuelo, monitoreo y comunicación. Pretende ofrecer un servicio genérico para así satisfacer la necesidad de navegación de cualquier dron.

#### **EP5 (Elias Kougianos\*, 2016) Design of a High-Performance System for Secure Image Communication in the Internet of Things**

En este artículo se presenta un diseño de alto rendimiento en la seguridad de las comunicaciones de las imágenes en situaciones ambientales desfavorables mediante un diseño de una cámara óptica basada en una resolución media, una estación de control y finalmente un nuevo algoritmo para la vigilancia inteligente. Este Sistema

emplea XBee como medio de comunicación para tener un mayor alcance en la comunicación del robot con el centro de control, sin embargo, el consumo de energía empleado no es controlado por la distancia que se tiene.

**EP6 (Carla Mouradian, 2018) Robots as-a-Service in Cloud Computing: Search and Rescue in Large-scale Disasters Case Study**

En el artículo se presenta un estudio para generar un modelo de robots de búsqueda y rescate como un servicio basado en la nube, esto consiste en, una arquitectura capaz de tener un conjunto de robots, donde la comunicación se lleva a cabo mediante el uso de controles del Internet de las cosas o Infraestructura como servicio. Además, permite conocer las dificultades de homogenizar los robots. Finalmente da a conocer la fragilidad de los servicios de los robots, por el gran cambio que se presentan en este tipo de tecnologías.

**EP7 (Maslowsk, 2014) Training and Support system in the Cloud for improving the situational awareness in Search and Rescue (SAR) operation**

El artículo se presenta como un sistema de entrenamiento y soporte para el proyecto operaciones de búsqueda y rescate denominado ICARUS. El sistema propone apoyar al equipo de rescate mediante un mapeo 3D de la zona empleando mapas de las áreas afectadas, imágenes satelitales y datos de los sensores de los robots no tripulados. Este sistema emplea una arquitectura SaaS por lo tanto su funcionalidad se lleva mediante internet.

**EP8 (Rahman, 2018) Collab-SAR: A Collaborative Avalanche Search-And-Rescue Missions Exploiting Hostile Alpine Networks**

Se propone un enfoque colaborativo en los Alpes para operaciones de búsqueda y rescate, mediante el despliegue de una red inalámbrica colaborativa aire tierra, mediante tecnologías Wireless (p.e.: la utilización de wifi). Esta arquitectura resulta muy útil para la comunicación entre equipos de búsqueda con un amplio radio de cobertura, permitiendo una respuesta rápida y eficiente, con resultados exitosos.

**EP9 (Automatio, 2018) Design and Implementation of Debris Search and Rescue Robot System Based on Internet of Things**

El artículo está relacionado al diseño e implementación de un robot de búsqueda y rescate basado en Internet de las cosas (emplea sensores como GPS, temperatura y humedad), sin embargo, recae en ser un modelo muy simple, aun que permite el control y monitoreo del robot mediante tecnología Android, se ve limitado por el alcance de la red wifi.

**EP10 (Tingting Yang, 2018) Multi Agents to Search and Rescue Based on Group Intelligent Algorithm and Edge Computing**

Se presenta un modelo de búsqueda para operaciones marítimas tomando en cuenta las condiciones ambientales de la marea, viento etc. Este modelo emplea comunicación satelital para el centro de mando, y un despliegue en niveles definiendo ciertas funciones a los diferentes vehículos aéreos no tripulados, como podemos ver una conexión satelital en una situación de desastre puede ser muy útil, lamentablemente no es la más rentable.

### **Características del estado del arte**

Los trabajos e investigaciones propuestas, presentan una gran cantidad de soluciones para la comunicación para robots de búsqueda y rescate. Por lo tanto, para la presente investigación realizaremos una síntesis de los resultados de los estudios primarios, de acuerdo a la descripción indicada a continuación.

El **EP1** como una referencia para la implementación de la arquitectura tanto de la comunicación como la toma de datos mediante los sensores.

El **EP2, EP3, EP5 y EP7** presenta propuestas de procesamiento de imágenes, un cerebro central, toma de imágenes de alta calidad y el mapeo de estructuras para la generación de mapas 3D respectivamente, sin embargo, nuestro enfoque principal es la arquitectura por lo cual podría ser utilizado para trabajos futuros.

**EP4:** Se usará como referencia para orientar el trabajo de investigación al futuro donde un dron será más usado que un avión.

**EP6:** Será usado como referencia para la validación del sistema de monitoreo para los robots de búsqueda y rescate, y la necesidad de una conexión a internet.

**EP8:** Nos otorga un contexto real para las operaciones de búsqueda y rescate, de ahí tomamos los puntos clave para una misión exitosa empleando robots.

**EP9:** Es un ejemplo simple que permite ver claramente la necesidad de un acceso a internet.

**EP10:** Es un modelo satelital para el despliegue de drones en operaciones de naufragios en el mar. Este no será empleado en la investigación sin embargo no abre

espacio a un ambiente más para las misiones salvamento. El cual puede ser usado en trabajos centrados en el desarrollo de robots. Como podemos ver en la figura 1.

**Figura 1**  
*Características del estado del arte*



## Marco teórico

### Planteamiento del marco teórico.

### Hipótesis de investigación y selección de variables.

Para desarrollar el marco teórico se planteó la hipótesis para el proyecto de titulación, posteriormente se identificó la variable dependiente e independiente:

La hipótesis fue definida:

“Una infraestructura de comunicación para robots basada en la tecnología LoRa, enfocada en las operaciones de búsqueda y rescate, consume menos energía y tiene una mayor área de cobertura.”

Podemos definir la variable dependiendo e independiente de la siguiente manera:

Variable independiente

Variable Dependiente

Una infraestructura de comunicación para robots basada en la tecnología LoRa

Consume menos energía y tiene una mayor área de cobertura.

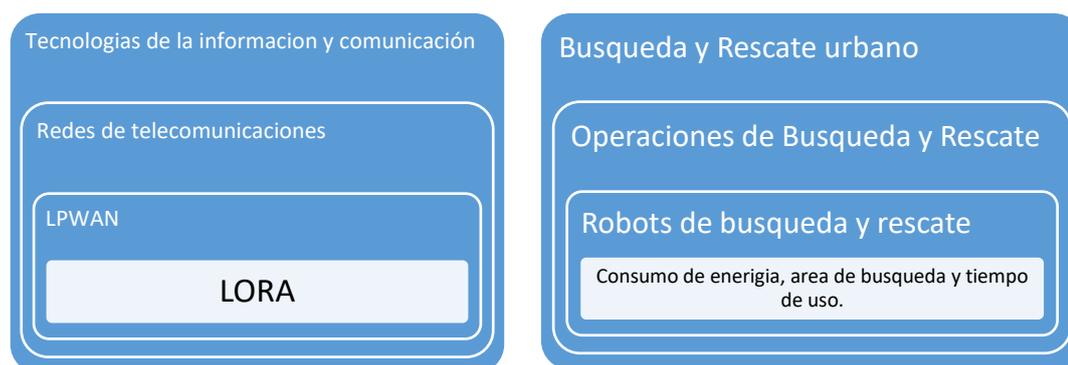
### **Categorización de variables.**

Esta categoría nos permite definir cuáles son las temáticas para desarrollar las diferentes temáticas para llevar a cabo el marco teórico, referente a la variable independiente y dependiente, para sustentar la propuesta planteada.

La red de categorías se define de la siguiente manera:

Variable independiente

Variable dependiente



## Tecnologías de la información y comunicación

**Figura 2**

*Tecnologías de la información y comunicación*



*Nota:* tomado de (Google, s.f.)

En términos generales podemos definir a las tecnologías de la información y comunicación como un conjunto de herramientas centrados en la informática, la microelectrónica y las redes de telecomunicaciones, donde el principal objetivo es gestionar y procesar la información tales como videos, voz, datos etc. (Ortí, 2011).

Los 3 principios básicos de TICS son:

### I. Microelectrónica

Corresponde a los estudios de la estructura eléctrica y la electrónica, como inicio de todo. De esta manera se crean transistores, microprocesadores entre otras cosas, que nos permiten la creación de ordenadores (Ñiquen, 2015).

### II. Informática

Los computadores remontan a la segunda guerra mundial, nacieron como respuesta a la necesidad de realizar procesos matemáticos, hoy en día su alcance se encuentra en la industria, la medicina, la simulación, la educación, la domótica, medios multimedia etc. En pocas palabras la informática facilita la automatización de la información (Ñiquen, 2015).

### III. Las telecomunicaciones

Como ya se definió previamente las Tic, se representan como sistemas que gestiona y procesan información, eso quiere decir que no son partes aisladas, tienen una vía comunicación, ya sea esta una red o algún otro medio de envío y recepción de datos

Las características de Tics se definen de la siguiente manera:

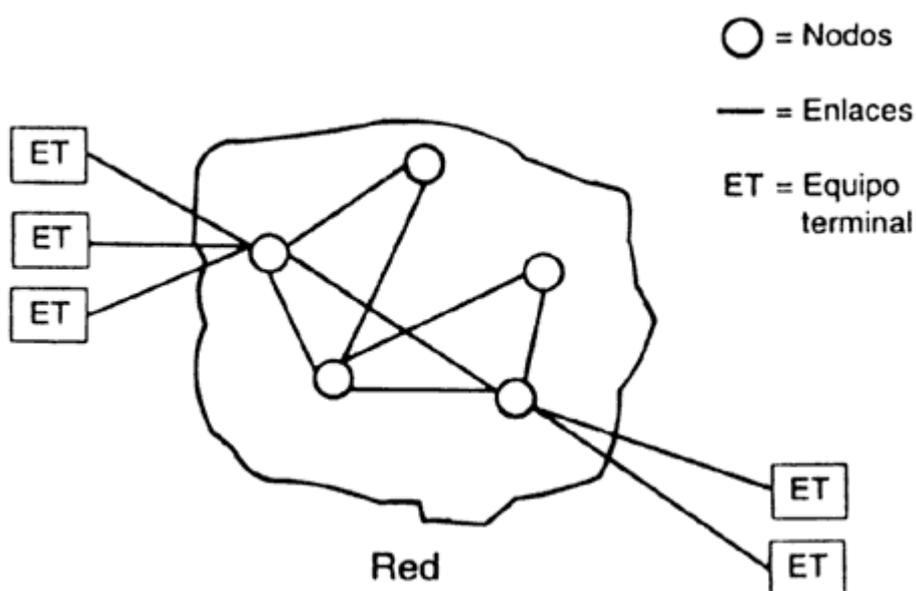
- i) Inmateriales: la información se encuentra grabado en dispositivos electrónicos.
- ii) Interconexión: comunicación entre las diferentes tecnologías, empleando mensajería, chats e incluso medios colaborativos para desarrollo de proyectos.
- iii) Interactividad: otorgar la capacidad al receptor de enviar información y viceversa.
- iv) Instantaneidad: rápido envío y recepción información.
- v) Elevados parámetros de calidad y sonido: Corresponde al empleo de datos textuales, videos, audios o imágenes para crear un proceso de comunicación de alta calidad.
- vi) Digitalización: Abarca la transformación y transmisión de información como sonido, texto, imagen o animaciones mediante un formato único.
- vii) Penetración en todos los sectores: El empleo de las Tic en la sociedad no solamente abarca el ámbito técnico, hoy en día también se encuentran en muchos procesos sociales.
- viii) Innovación: una de las grandes características es el constante cambio en el desarrollo de la tecnología, la sociedad y la dependencia de la

tecnología.

- ix) Capacidad de almacenamiento: corresponde al volumen de la información que será almacenada.
- x) Tendencia a la automatización: Centrado en el empleo de diferentes tecnologías y herramientas que permitan la automatización de ciertas tareas.
- xi) Diversidad: la tecnología está en constante cambio, una gran gama de herramientas para desarrollar cierta tarea, se debe tomar en cuenta que la comunicación, desarrollo de software y procesamiento de información puede ser muy diverso. (Ñiquen, 2015).

## Redes de telecomunicaciones

Figura 2  
Red de telecomunicaciones



Nota: tomada de (Google, s.f.)

Una red de telecomunicaciones está definida como un conjunto de sistemas para

envío y recepción de datos, equipados con la tecnología para la transmisión de señales entre 2 terminales, empleando medios como cable de cobre, fibra óptica, u otro medio. Dicha transmisión puede ser texto, audio, video imagen, sonido, en otras palabras, información (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2016).

La arquitectura de una red de telecomunicaciones no permite conocer la distribución de sus elementos, entre los cuales tenemos la tecnología empleada, los protocolos de envío y recepción, y finalmente los dispositivos que se encuentren en la red. Entre los cuales tenemos:

1. Modelos topológicos

Los modelos más populares son LAN, WAN Y MAN los mismos que se orientan en la distribución geográfica, cuando se emplea un modelo topológico como estos se debe tomar en cuenta las características de desempeño (McCabe, 2007).

2. Modelos basados en el flujo

Este tipo de modelos está basado en la conexión punto a punto, entre los cuales tenemos distribuida, cliente servidor etc. Lo más destacable esta arquitectura es la coherencia para la transmisión de información porque cada terminal conoce a ciencia cierta los diferentes nodos presentes en la red (McCabe, 2007).

3. Modelos funcionales

Los modelos funcionales centran su esfuerzo en apoyar los procesos de la red, por ejemplo, a los proveedores de servicio, intranet, extranet. Centro de

seguridad y privacidad entre otros (McCabe, 2007).

Los componentes principales de una red son:

1. Enrutamiento:

El enrutamiento corresponde al direccionamiento y la conectividad entre las diferentes redes existentes, empleando protocolos de enrutamiento los mismo que usan IP para su funcionamiento, entre estos procesos se encuentra redireccionamiento, tráfico de datos, VLAN, cambios de IP, entre otras cosas.

2. Gestión de la red

Una red es un elemento importante de la compañía, por lo que es necesario realizar ciertos controles para gestionar de manera eficiente los recursos existentes. Dichas funciones comprenden el monitoreo, la distribución de sus centrales e incluso la integración con otras redes.

3. Rendimiento

En palabras simples el rendimiento corresponde a las operaciones que se llevan a cabo para administrar los recursos que se encuentran en la red, eso incluye usuarios aplicaciones y dispositivos.

4. Seguridad:

Donde se trabaja con información uno de los pasos más importantes es la seguridad, ya que esta nos garantiza la CIA (confidencialidad, integridad y disponibilidad) de los servicios que provee la red.

## 5. Optimización

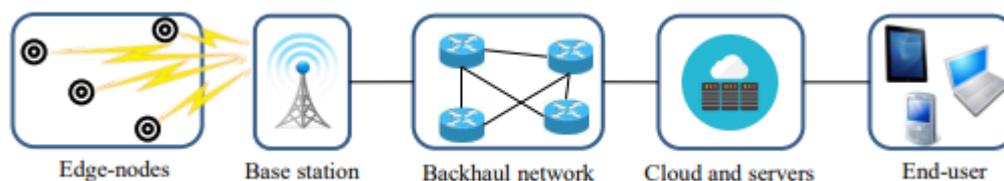
Si bien es cierto una red puede funcionar no siempre su implementación puede ser la más adecuada, talque los paquetes puedan ser enviados de manera correcta en el menor tiempo, es decir eficientemente, por esto es necesario realizar optimizaciones y por lo mismo es una característica extremadamente importante, corresponde al correcto manejo del tráfico, y la capacidad de direccionar o redireccionar los paquetes pretendiendo no aumentar tiempos de respuesta (McCabe, 2007).

Por otra parte, en una manera más simple se podría decir que son una manera de comunicación donde se encuentra un componente tecnológico, otro administrativo y finalmente un humano. Donde cada ordenador realiza cierto tipo de peticiones obtendrá su información correspondiente (Salinas, 1995).

Sin embargo, debemos tomar en cuenta que tenemos una gran variedad de tecnologías para establecer la comunicación, como por ejemplo redes móviles, satelitales, fijas e inalámbricas. Cada una de estas tiene sus características ventajas y desventajas, sin embargo, por la aparición del nuevo movimiento centrado en IOT surgen nuevas necesidades.

### LPWAN

**Figura 3**  
LPWAN



*Nota:* tomada de (Google, s.f.)

IOT está centrado en establecer una conexión entre todos los dispositivos, permitiéndonos compartir información y estados, para crear una mejor calidad de vida para los humanos.

Hoy en día tenemos una gran cantidad de aplicaciones centradas en este concepto, la misma que tiene ciertos requerimientos

- 1) Gran alcance
- 2) Bajo volumen de datos
- 3) Bajo consumo de energía
- 4) Un costo aceptable.

Las tecnologías usuales como Zigbee o Bluetooth no son las mejores opciones para escenarios que cubren grandes distancias, podemos centrarnos en redes celulares lamentablemente consumen una gran cantidad de energía (Mekki, 2017).

LPWAN por sus siglas quiere decir área amplia de baja potencia (Low Power Wide Area), es un grupo de tecnologías que permite el envío de pequeñas tramas de datos entre largas distancias empleando una potencia más baja que otras redes como son, telefónica satelital o redes wifi (Petäjärvi, 2016).

Estas tecnologías no son centradas en aplicaciones comerciales, como video, voz e incluso mensajería. Este tipo de redes cuentan con un gran desempeño en ámbitos exclusivamente de internet de las cosas o comunicación entre máquinas. Existen ciertos escenarios en los cuales es necesario una comunicación entre puntos que se encuentran a kilómetros de distancia, como una granja o una zanja de irrigación, donde es necesario el control de bombas, compuertas o simplemente para conocer el estado de la tierra. Sin embargo, dichos dispositivos se encuentran en muchos casos a través de kilómetros y kilómetros de zonas de cultivos. Gracias a las tecnologías LPWAN nos permite gestionarlas desde la

comodidad de una estación central (Petäjälä, 2016).LPWAN implementa en su mayoría una topología estrella donde cada nodo se comunica directamente con un nodo central, esto permite crear una arquitectura simple.

Como podemos ver las características de una LPWAN son especializadas para desarrollar una aplicación centrada en IOT, sin embargo, aún existen una gran cantidad de opciones como SigFox, LoRa y NB-IOT.

### 1) SigFox

Sigfox fue desarrollada por un Sigfox (Francia) creada en 2010, comercializada como una solución IOT 31 países.

- Ofrece una conexión punto a punto
- Emplea una conexión basada en IP
- Emplea una única señal en cada lugar (868MHZ en Europa, 915MHZ en América del Norte)
- Solo permite el envío de 140 mensajes por día, dicho mensaje debe ser de 12 Bytes.

### 2) LoRa

LoRa fue creada en el 2009 en un start-up, mejorara por Semtech en el 2012 y finalmente en el 2015 aparece LoRa-Alliance y la desarrolla como una solución IOT en 42 países.

- Emplea su propia técnica de espectro para establecer la comunicación
- Emplea una señal única en cada país (658 MHz en Europa, 915MHz en América del Norte).

- Al emplear un espectro de banda corta el resultado es una señal con poco ruido.
- Se puede enviar información de 50 Kbps hasta 300 bps.
- El protocolo de comunicación se llama LoRaWAN
- Emplea la redundancia en la recepción para para mejorar la calidad de la comunicación.
- Provee terminales con comunicación bidireccional
- Provee terminales con comunicación bidireccional basada en horarios
- Provee terminales con comunicación bidireccional con un número máximo de slots para recibir información.

### 3) NB-IOT

NB-IOT está desarrollada en base a tecnología de radio, tuvo su tiempo de pruebas en Europa y en 2016 es publicada su solución empleada para ciudades inteligentes.

- Puede coexistir con GMS y LTE
- Emplea una banda de frecuencia con 200 KHz
- Los nodos pueden operar en Stand-alone, Guard-band o In-band.
- La comunicación está basada en el protocolo LTE.

Tabla 4

## Comparacion Sigfox-LoRa-NB-iot

	<b>Sigfox</b>	<b>LoRa</b>	<b>NB-IOT</b>
<b>Banda Ancha</b>	100 HZ	250 kHz y 125 kHz	200kHz
<b>Rango</b>	10 km en urbano 40 km en rural	5 km en urbano 20 km en rural	1 km en urbano 10 km en rural
<b>Máximos mensajes por día</b>	140	No	No
<b>Frecuencia</b>	Banda sin licencia	Banda sin licencia	Empela la frecuencia de LTE
<b>Bidireccional</b>	limitada	Permite	Permite
<b>Inmunidad a la interferencia</b>	alta	Alta	Baja
<b>Estandarización</b>	Sifox company	LoRa-Alliance	3GPP
<b>Autenticación y encriptación</b>	Carece	AES 128	LTE (Long-Term Evolution)
<b>Handover</b>	No tiene una base común	No tiene una base común	Tiene una base común
<b>Localización</b>	RSSI (Received signal strength indication)	TDOA (Time Difference of Arrival)	Carece
<b>Modulación</b>	BPSK (Binary phase-shift keying)	CSS (Binary phase-shift keying )	QPSK (Binary phase-shift keying)

### **Búsqueda y rescate urbano**

También conocido por sus siglas en inglés USAR (Urban Search and Rescue), abarca algunos ámbitos en una situación de desastre, significa el análisis del lugar, el rescate de las personas, su tratamiento médico y estabilización de signos vitales, además de aplicar las medidas necesarias en estructuras afectadas para evitar su colapso (SARAI UK, 2008).

Las situaciones de desastre son un problema que ocurre a nivel mundial, esta es la razón se han creado servicios USAR alrededor del mundo (INSARAG- International Search and Rescue Advisory Group), siempre están asociados al departamento de bomberos (INSARAG, 2002 |).

Entre los estándares tenemos que al menos se debe contar con 140 miembros altamente entrenados, asegurando de esta manera una correcta respuesta., estas organizaciones tienen un solo objetivo principal salvar vidas (FRONTEX, 2016).

### **Operaciones de búsqueda y rescate urbano**

En Ecuador la secretaria de gestión de riesgos está encargada de acreditar a los grupos de búsqueda y rescate (USAR), de esta manera se asegura que Ecuador tiene los conocimientos necesarios para afrontar una situación de desastre, mediante estrategias y estándares internacionales (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias , 2015).

Definiendo como operación de búsqueda y rescate el proceso, que permite salvaguardar la mayor cantidad de vidas, en una situación de desastre producida por un fenómeno natural

o por causa del humano, como consecuencia tenemos ambientes extremadamente inestables, estructuras destruidas y otras inestables (INSARAG, 2016).

Para llevar a cabo la operación de búsqueda y rescate INSARAG define una estrategia que permite cubrir la gestión, búsqueda, rescate, medicina, logístico y seguridad. Reflejada en la siguiente figura:

**Figura 4**  
*El ciclo de respuesta USAR internacional*



*Nota:* tomada de (INSARAG, 2016)

Corresponde al proceso de preparación de los miembros del equipo de rescate, entrenamiento y realización de ejercicios que permitan llevar a cabo una operación de búsqueda y rescate eficiente, además de toman en cuenta estrategias para situaciones futuras.

Como observamos en la ilustración 5, el proceso es un ciclo que se repite por cada operación, buscando crear el mejor resultado. Dichas actividades se definen como:

### **Movilización**

Tiene como fin obtener la mayor cantidad de datos acerca de la situación, eso quiere decir:

- Situación del país
- Organizaciones dispuestas a trabajar en conjunto con el estado
- Informar a los equipos la situación
- Comprobar el estado de los medios de comunicación.
- Verificación de equipos
- Analizar los planes de contingencia (evacuación, tácticas de rescate etc.)
- Gestión del personal medico
- Administración del desempeño médico.
- Soporte logístico
- Equipamiento y personal

En resumen, podemos decir que abarca todos los aspectos necesarios previos para llevar a cabo la operación de búsqueda y rescate (INSARAG, 2016).

### **Operación**

Esta fase contempla las siguientes características:

- Aseverar la existencia de equipos que cumplan con las políticas para una operación de búsqueda y rescate.
- Selección de los planes de seguridad y estrategias que permitan llevar a cabo una operación eficiente.
- Coordinación de los equipos de rescate
- Establecer prioridades
- Aseverar la preparación del equipo de rescatistas.
- Asegurar un trabajo en conjunto con los equipos de logística

- Implementar un plan médico para la seguridad de las personas
- Asegurar el correcto uso de los recursos.

Como podemos observar se abarca la implementación y la gestión de actividades realizadas a cabo en la operación de búsqueda y rescate (INSARAG, 2016).

### **Desmovilización**

En esta fase de la operación corresponde a:

- Gestión de las donaciones
- Proveer una comunicación entre los involucrados
- La creación de un plan de reubicación
- Implementación de medidas de rescate y cuidado para las mascotas encontradas
- Descanso de los canes que se usaron para las operaciones
- Análisis del estado de los equipos usados.
- Retiro de los equipos médicos
- Cuidado de los rescatistas que terminaron heridos.
- Implementación de plan de desmovilización
- Revisión médica de los rescatistas luego de la operación

Las características engloban las de retirada, para los rescatistas, médicos y civiles (INSARAG, 2016).

### **Post-Misión**

En esta etapa Podemos encontrar las siguientes características:

- Encargado de realizar la actualización y publicación de datos de la situación de desastre.
- Se realiza un análisis para conocer las fallas, falencias y se desarrollan nuevas estrategias.
- Revisión médica del personal tanto canino como humano empleado en las operaciones.
- Reuniones post-misión de los diferentes equipos de rescatistas.
- Revisión de los equipos.

Finalmente se realiza un análisis de los equipos, estrategias y personal, para mejorar su desempeño en operaciones posteriores (INSARAG, 2016).

### **Robots de búsqueda y rescate urbano**

En las operaciones de búsqueda de rescate siempre prima la supervivencia humana, gracias al avance de la tecnología nos ha permitido desarrollar robots cumplir de una manera más eficiente ese objetivo (Murphy, 2003).

Los robots nos permiten ingresar a lugares con alta radiación, de temperaturas extremas y donde un humano no puede acceder. Durante una situación de desastre una de las principales actividades es la recolección de información, en 1985 en México murieron 135 rescatistas de los cuales 65 fallecieron confirmando lugares inundados, por otro lado, un robot es desechable, se puede desplegar fácilmente en pocos minutos y adicionalmente puede llevar recursos médicos y biosensores (Murphy, 2003).

No siempre se cuenta con los suficientes rescatistas para cubrir toda el área de desastre, un robot representa una gran ayuda revisar el área, incluso el empleo de un dron puede alcanzar una mayor área de cobertura, empleando sensores para mapeo del lugar, nos

otorga la suficiente información para generar mapas de 3d, y permite generar estrategias de búsqueda centradas en la situación específica (Tomic, 2012).

Finalmente debemos tomar en cuenta que los primeros rescatistas en una situación de desastre corresponden a los habitantes de la zona. En el terremoto Hanshin-Awaji, solo el 23% (8000) de personas fueron atendidas por rescatistas, bomberos o policías, el porcentaje restante fueron rescatados por vecinos. Mediante la tecnología de hoy en día se pueden desarrollar robots con alta movilidad, semi autónomos que cualquier persona con capacitaciones básicas para situaciones de desastre pueden emplearlos (Maruyama, 2016).

## Capítulo III

### Diseño de la arquitectura

#### Introducción

Este proyecto tiene como fin desarrollar una infraestructura para comunicación de robots de búsqueda y rescate, empleando LoRa, por lo cual el sistema tiene que tomar en cuenta las siguientes funcionalidades:

- **Control:** Corresponde a la facultad del usuario para ejecutar uno o varios comandos para los robots, de una manera remota mediante un medio de control. Estos comandos engloban movimiento y componentes.
- **Monitoreo:** Se entiende como la facilidad del usuario para ver el estado del robot y los componentes activados mediante la nube. Entre ellos tenemos el posicionamiento, movimiento y datos de los sensores.
- **Robots de búsqueda y rescate:** Son las unidades a ser controladas remotamente que se registran a la arquitectura de monitoreo. Deben poder ser manipulados mediante comandos y deben tener la capacidad de enviar datos de sus sensores y componentes empleando la nube.
- **Tecnología serverless en la nube:** Se refiere a la tecnología que permite el despliegue de funciones stateless mediante endpoints. Entre ellas tenemos algunas que además presentar productos para almacenar y desplegar aplicaciones sin la necesidad de servidores como FireBase.
- **Comunicación a larga distancia mediante LoRa:** Esta tecnología corresponde a un tipo de LPWAN, la cual nos permite la comunicación bidireccional mediante un nodo central y endpoints a distancias de hasta 15 Kilómetros,

empleando un consumo bajo de energía.

Esto, nos permitió desarrollar una infraestructura, con la suficiente capacidad para llevar a cabo procesos de búsqueda y rescate. Dichas características siguen el modelo de INSARAG para operaciones de búsqueda y rescate como lo detalla la **figura 5** (INSARAG, 2016).

### **Herramientas**

El conjunto de herramientas que se seleccionaron para el desarrollo del proyecto, permitió obtener una comunicación eficaz. Las mismas que podemos categorizar de la siguiente manera:

- Hardware.
- Software.
- Leguajes de programación.
- Herramientas en la Nube.

#### Hardware

##### **Raspberry Pi 3**

Raspberry pi es un ordenador de bajo costo, que permite a los desarrolladores aprender y explorar el mundo de la computación mediante lenguajes como Python, C++, Scratch etc. Además, tiene la capacidad de interactuar con el mundo real, hoy en día se han realizado una gran cantidad de proyectos relacionados con música, detectores de clima, cámaras, entre otras cosas (Raspberry , s.f.) .

De una manera más detallada las características de esta distribución de Raspberry pi 3 modelo B son:

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM

- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 100 base Ethernet
- 40-pin extended GPIO
- 4 USB 2 puertos
- 4 Pole stereo output and composite video port
- HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

**Figura 5**  
*Raspberry pi 3 modelo B*



*Nota: tomada de Raspberry*

**Nodo Lora LoRa (ESP32)****Figura 6***Modulo ESP32*

*Nota:* tomada de espressif

ESP32 es una serie de microcontroladores de bajo costo y bajo consumo de energía integrado con WiFi y un módulo de comunicación Bluetooth. Tiene la capacidad de enviar datos empleando el protocolo LoRaWAN.

Este dispositivo envia datos mediante una banda ISM, en 3 frecuencias principalmente:

- 433 MHZ en Asia
- 915 MHZ en América.
- 868 MHZ en Europa.

Para finalizar es programable mediante Arduino mediante la librería ESP32\_LoRaWan, adicionalmente contiene una pantalla y leds para mostrar mensajes (Heltec Automation Docs, 2019).

## Software

### Android Things

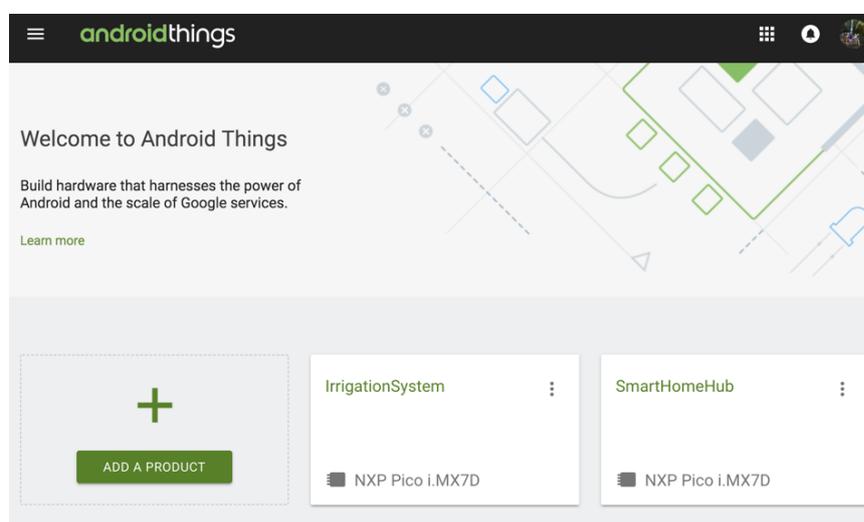
Es una Plataforma de Google que nos permite crear apps para dispositivos inteligentes interconectados, facilita el desarrollo de aplicaciones sin tener conocimientos previos, además podemos conectarnos a sus apps mediante servicios de Google, desarrollo empleando Android SDK y Android Studio, uso de Android Things Console para llevar a producción nuevas características y un ambiente seguro.

Ofrece compatibilidad con Hardware mediante plataformas populares como Raspberry Pi 3, en resumen, nos permite desarrollar, su despliegue y comunicación entre diferentes dispositivos (Google, s.f.).

Aquí tenemos la consola de Android Things.

**Figura 7**

*Consola de Android Things*



*Nota:* tomada de (Google, s.f.).

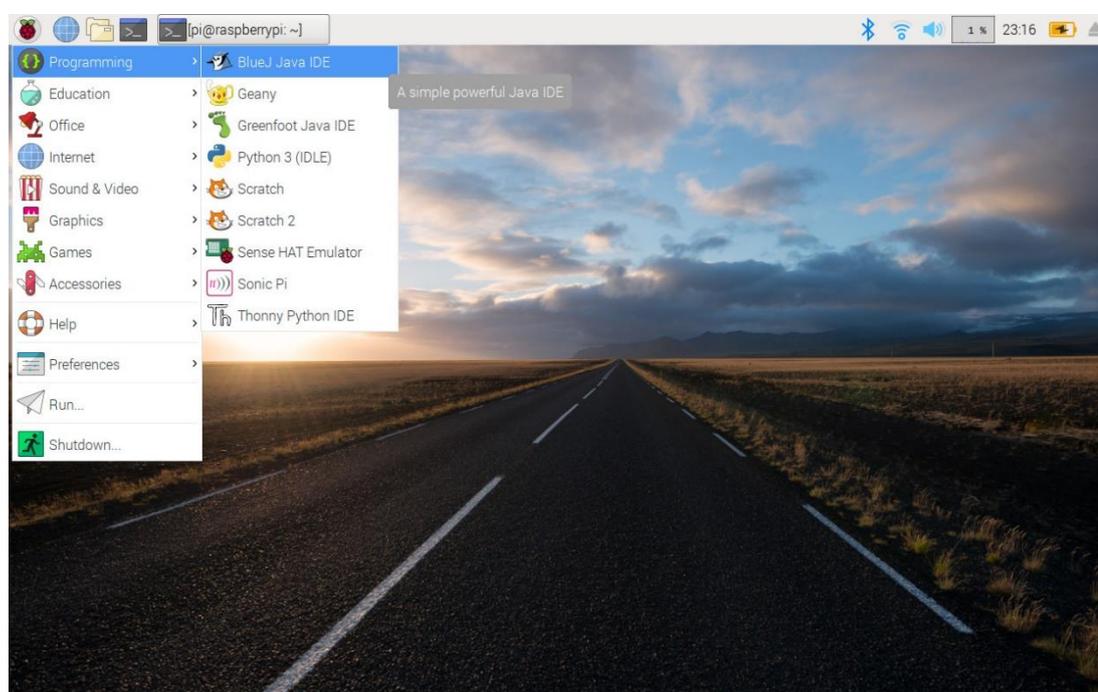
### Rasbian

Sistema operativo basado en Debian base para el uso de Raspberry, con alrededor de 35000 paquetes especializados para el desarrollo de aplicaciones, el

mismo puede usar, Python, C++, Sonic PI, Java entre otros.

Cuenta con una interface gráfica, primando la facilidad de uso, y la implementación de proyectos que incluyan hardware, como objetivo principal está el desarrollo de aplicaciones orientado a la educación. A continuación, podemos ver la pantalla principal de este software (Raspberry, s.f.).

**Figura 7**  
*Pantalla principal de Raspbian*



*Nota:* tomada de (Raspberry, s.f.)

## **Lenguajes de programación**

### **Python**

Python es un lenguaje de programación que busca primar la simplicidad del código, además soporta una gran cantidad de paradigmas entre los cuales tenemos orientado a objetos, programación imperativa o programación funcional. Finalmente tenemos que es un lenguaje interpretado, y con tipado dinámico es decir que las variables pueden cambiar en tiempo de ejecución (programoergosum, n.d.).

## **JavaScript**

Es un lenguaje de programación orientado a la web, nos permite crear componentes dinámicos, gestionar archivos multimedia, esta estandarizado por el ECMAScript. Usa POO como paradigma principal, aunque soporta prototipos, funcional, además es débilmente tipado (JavaScript, 2020).

## **C++**

C++ es un lenguaje estandarizado desde 1986, compila directamente en código de máquina nativo, fuertemente tipado, soporta memoria dinámica y memoria estática, además soporta programación orientada a objetos, pero entre sus cualidades la principal tenemos un acceso directo a la memoria, facilitando la programación de muchos componentes y minimizando el uso de recursos (Albatross., n.d.).

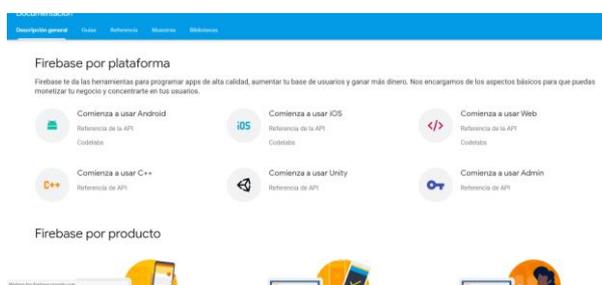
## **Servicios de la Nube**

### **FireBase**

Firebase es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones móvil y web, nos ofrece una gran cantidad de servicios, que nos ayudan a desarrollar, mejorar y desplegar la app. Otra de las cualidades es la gran cantidad de plataformas que podemos usar, como Android, iOS, Web., C++, Unity entre otras.

No solamente eso ofrece herramientas para crear aplicaciones como hosting, Cloud Storage, mejorar la calidad como Performance Monitoring, Test Lab e incluso para mejorar el negocio como Predictions, Remote Config entre otros, en fin, nos permite crecer (FireBase, 2020).

**Figura 8**  
*Consola de FireBase*



*Nota:* tomada de (Firebase Realtime Database, s.f.).

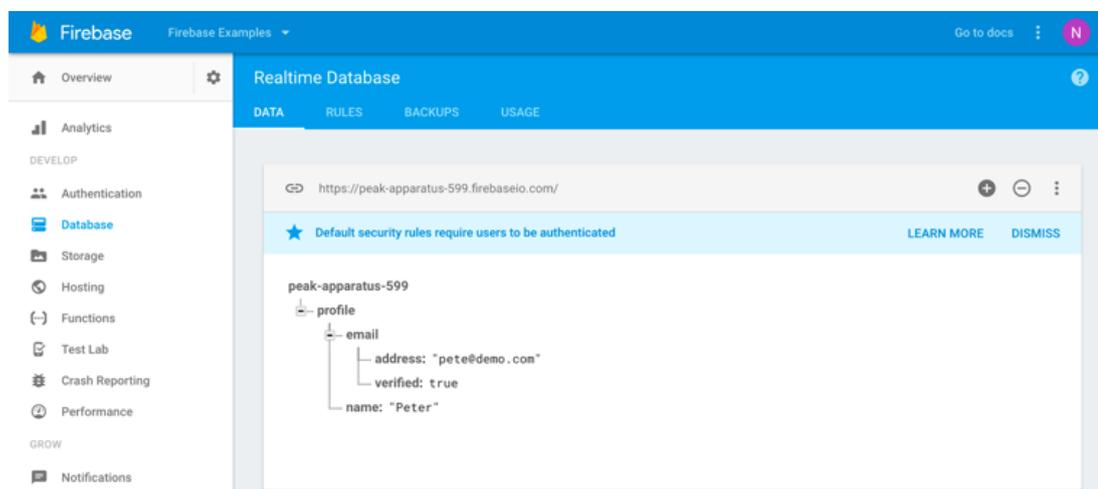
### **Time Data Base**

Como su nombre lo indica es una base de datos en tiempo real, eso quiere decir que se sincroniza los datos con la base de datos alojada en la nube mediante un formato Json, además esta información se mantiene actualizada con la del cliente, teniéndola de paso accesible si este pierde conexión. Todo esto permite ofrecer al usuario una experiencia dependiendo de la conexión a internet o no, cuando obtenga nuevamente internet todos los datos serán actualizados (Firebase Realtime Database, s.f.).

Con respecto a la seguridad, nos ofrece reglas de seguridad, las mismas que están basadas en expresiones, añadiendo FireBase Authentication, nosotros como desarrolladores definimos como se accede a los datos y su estructura.

Finalmente, con lo que respecta a lenguajes de programación, nos otorga la facilidad de soportar Java, JavaScript, Kotlin, Python, C++, además se puede conectar mediante servicios REST, si es que el lenguaje no es compatible (Mejía, 2020).

**Figura 9**  
Real time data base console



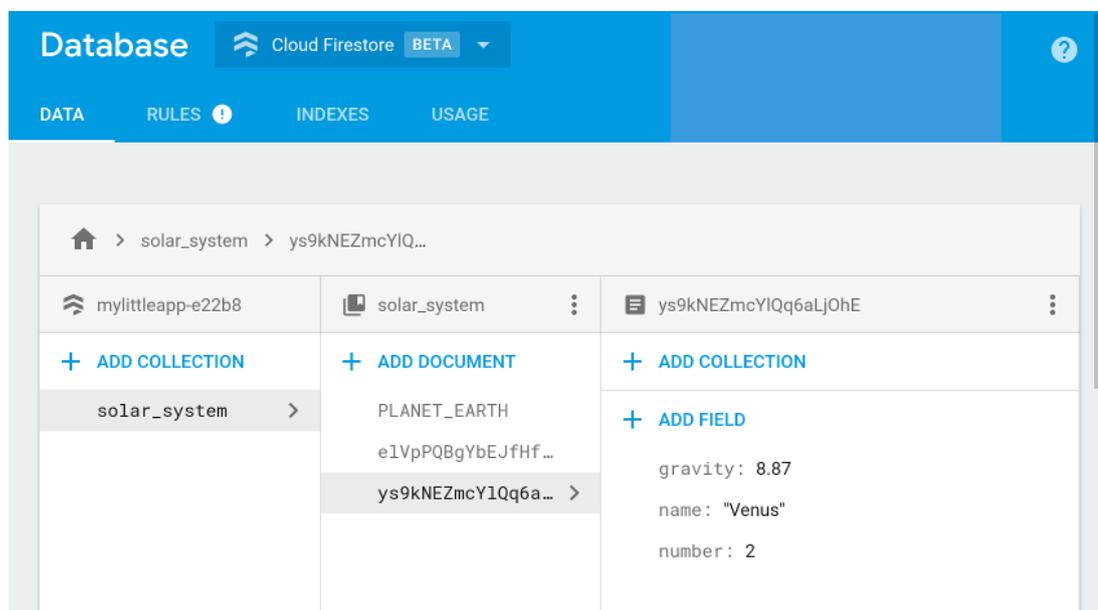
*Nota:* tomada de (Firebase Realtime Database, s.f.).

## Firestore

Es una base de datos adaptable especializada en programación para servidores, móvil y web. Los datos que tiene almacenados son sincronizados con los clientes, de esta manera siempre se encuentra con la última información, de la misma manera que Real Time Data Base, en caso de no tener conexión a internet, proporciona ciertas alternativas, que permiten el correcto funcionamiento de la aplicación. Además, ofrece compatibilidad e interacción con plataformas como FireBase y Google Cloud Plataform (FireBase-Cloud Firestore, s.f.).

Refiriéndonos concretamente al funcionamiento, se considera una base de datos NoSql, en la nube, de la cual se puede conectar aplicaciones iOS, Android o Web, mediante SDK propios o mediante otros SDK presentes en nodejs, Java, Python, o finalmente por servicios REST o RPC (FireBase-Cloud Firestore, s.f.).

**Figura 10**  
 Firebase Console



*Nota:* tomada de (FireBase-Cloud Firestore, s.f.).

### Functions

Esta parte de FireBase ayuda a ejecutar código BackEnd, como una respuesta programada por las funciones de fireBase y peticiones HTTPS, el código es almacenado en la nube de Google, de esta forma no necesitas escalar tus servidores (Cloud Functions para Firebase, s.f.).

Los eventos pueden ser mediante acciones de:

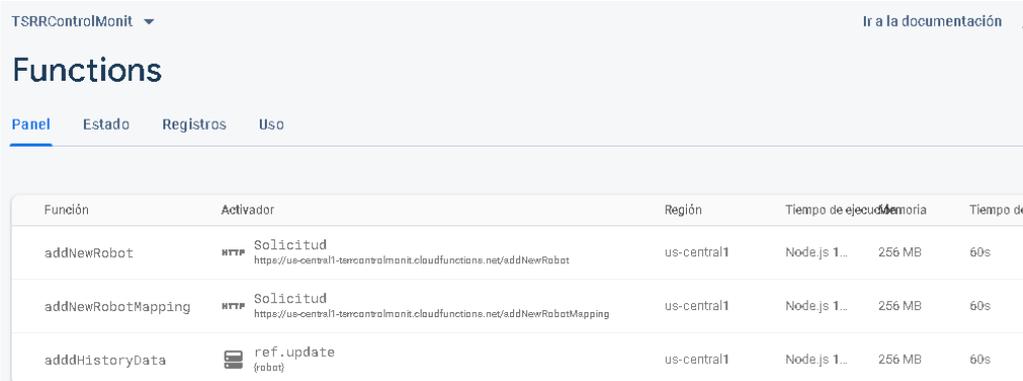
- Firestore
- Real Time Database
- Remote Config
- Test Lab
- Authentication
- Google Analytics
- Crashlytics

- Cloud Storage
- Cloud Pub/Sub
- HTTP Triggers (GET, POST, PUT, DELETE, etc.)

Cuando el código este arriba, Google se encarga de administrarlo, puede estar escrito en JavaScript, o TypeScript, el preocuparse por credenciales, configuración de servidores, nuevos servidores, etc. No será necesario, todo esto es automático.

Adicionalmente nos permite manipular la lógica de negocio en la parte del servidor, así el cliente no Debra hacer cambios, además que nos protege de la ingeniería inversa porque Google Functions, se encuentra independiente del cliente (Cloud Functions para Firebase, s.f.).

**Figura 11**  
Consola de Functions para Firestore



Función	Activador	Región	Tiempo de ejecución	Memoria	Tiempo de vida
addNewRobot	HTTP Solicitud https://us-central1-tsrcontrolmonit.cloudfunctions.net/addNewRobot	us-central1	Node.js 1...	256 MB	60s
addNewRobotMapping	HTTP Solicitud https://us-central1-tsrcontrolmonit.cloudfunctions.net/addNewRobotMapping	us-central1	Node.js 1...	256 MB	60s
addHistoryData	ref.update {robot}	us-central1	Node.js 1...	256 MB	60s

*Nota:* tomado de (Mejía, 2020)

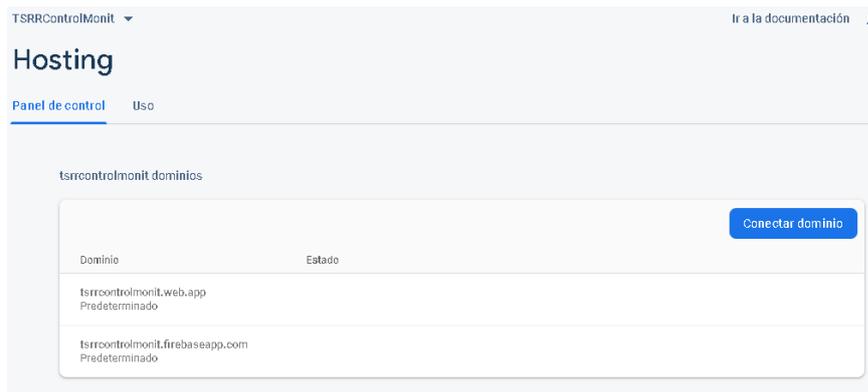
## Hosting

FireBase también proporciona un hosting para aplicaciones web y microservicios, mediante Firebase CLI nos permite desplegar nuevas versiones, todo esto se realiza una conexión SSL al usuario. También ofrece dominios y subdominios para desplegar el contenido web.

Nos permite trabajar con diferentes proyectos, con diferentes fines pero que

puedan compartir recursos, finalmente una de las principales ventajas es la presencia de un sistema de administración, el cual permita conocer los errores, versiones mediante un solo clic, sencillo y confiable (Firebase- Firebase Hosting, s.f.).

**Figura 12**  
Consola de Hosting de FireBase



*Nota:* tomado de (Mejía, 2020)

## DISEÑO Y ARQUITECTURA

### Características del diseño

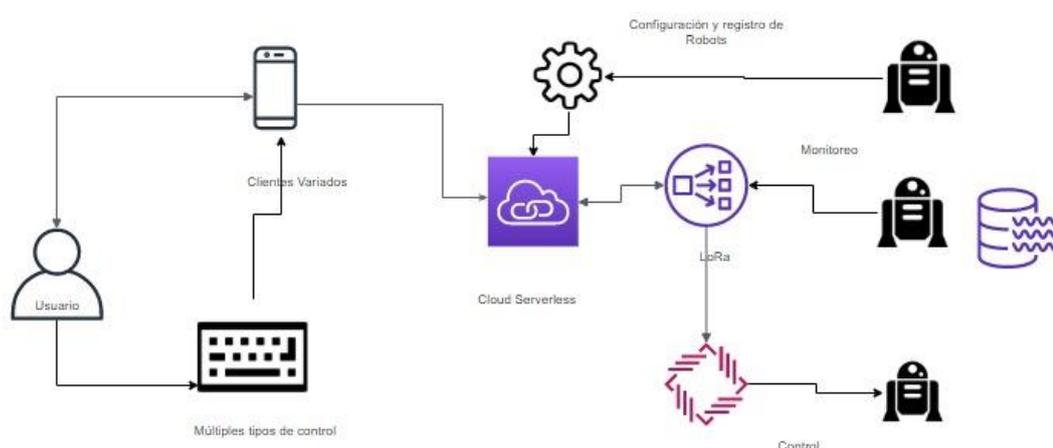
La infraestructura presenta las siguientes características funcionales:

- La capacidad de controlar y monitorear una cantidad ilimitada de robots, esto quiere decir que nuevos robots pueden ser registrados y estar disponibles para ser gestionados.
- Controlar el robot significa poder monitorear en tiempo real sensores, movimiento y las diferentes funcionalidades del robot disponibles.
- El monitoreo del robot es instantáneo, es decir los valores de los sensores deberán ser visualizados instantáneamente.
- Las funcionalidades de cada robot pueden ser diferente, de la misma manera su configuración y componentes. Sin embargo, debe ser compatible con el sistema, el mismo que debe ser capaz de reconocer

los elementos del robot.

- El robot puede ser controlado gracias a 2 partes. La primera corresponde a los componentes que estén disponibles para ser monitoreados y controlados. La segunda se refiere a un mapa que detalla los controles que el usuario puede emplear para usar el robot.
- El control debe poder manipularse o controlarse mediante un teclado, una interfaz móvil o una interfaz gráfica.
- Tanto los datos de los sensores en tiempo real como el estado de los componentes deberán ser visualizados de una manera sencilla, y fácil de manipular.
- Toda misión del robot deberá ser registrada y almacenada de manera histórica, de esta manera se podrá acceder a ella para realizar análisis en un tiempo posterior.

**Figura 13**  
*Infraestructura de comunicación y monitoreo*



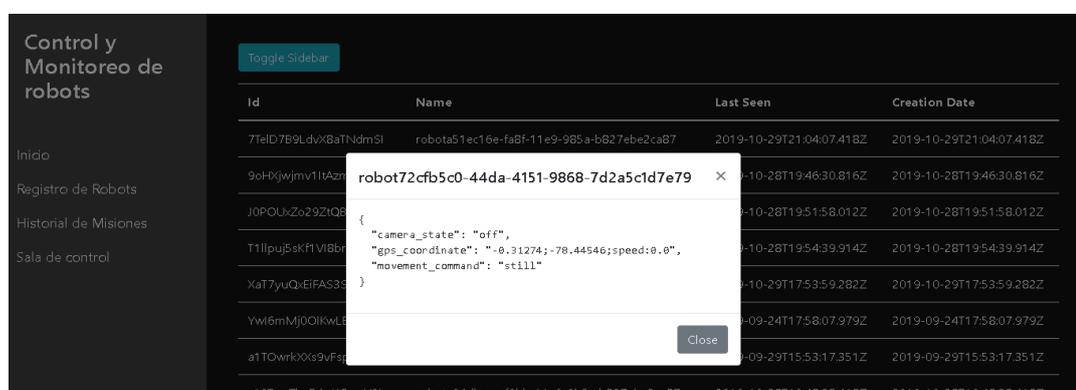
Habiendo definido las características operacionales para determinar que la infraestructura funcione correctamente, determinamos un modelo N capas (Torre, 2010). Así se definió 5 capas para el proyecto, las cuales son: Capa de presentación, Capa de almacenamiento o persistencia a datos, Capa de lógica de negocio, Capa LoRa, Capa de robots (Mejía, 2020).

### Capa de presentación

La capa de presentación corresponde uno de los elementos más vitales, donde el usuario mediante una interface grafica es capaz de controlar los robots y monitorear los estados del mismo (Mejía, 2020). Esta capa se presenta mediante una interface web y cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Visualizar los robots que se encuentren registrados:

**Figura 14**  
*Robots registrados*



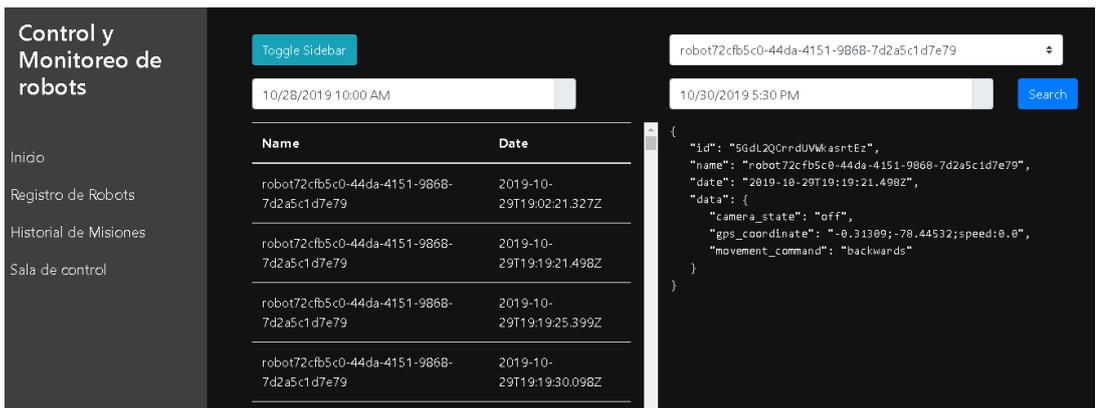
Id	Name	Last Seen	Creation Date
7TelD7B9LdvX8aTNdmSI	robot51ec16e-fa8f-11e9-985a-b827ebe2ca87	2019-10-29T21:04:07.418Z	2019-10-29T21:04:07.418Z
9oHxjwjmV1IAzm	robot72cfb5c0-44da-4151-9868-7d2a5c1d7e79	2019-10-28T19:46:30.816Z	2019-10-28T19:46:30.816Z
J0POUxZo29ZiQB	{	2019-10-28T19:51:58.012Z	2019-10-28T19:51:58.012Z
T1lIpuj5skFI VIBb	"camera_state": "off",	2019-10-28T19:54:39.914Z	2019-10-28T19:54:39.914Z
XaT7yuQ:EIFAS35	"gps_coordinate": "-0.31274;-78.44546;speed:0.0",	2019-10-29T17:53:59.282Z	2019-10-29T17:53:59.282Z
Yw6mMj0OikwLE	"movement_command": "still"	2019-09-24T17:58:07.979Z	2019-09-24T17:58:07.979Z
a1TOwrkX0s9vFst	}	2019-09-29T15:53:17.351Z	2019-09-29T15:53:17.351Z
c10Tug7hvEdvKQoutXOL	robot94dbaae-f9bb-11e9-9b2c-b827ebe2ca87	2019-10-28T19:48:28.418Z	2019-10-28T19:48:28.418Z

**Figura 15**  
Interface de control para robots



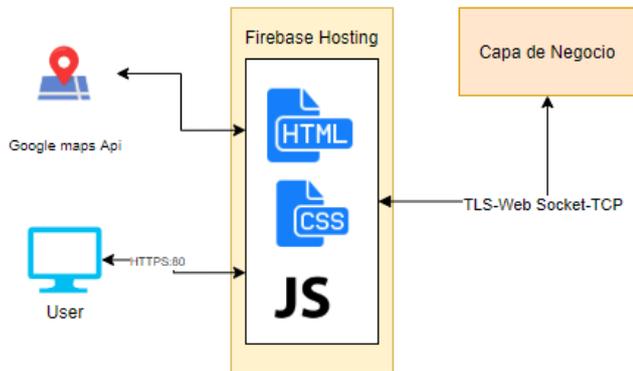
- Historial de los recorridos de un robot específico.

**Figura 16**  
Historial de acciones del robot



La aplicación web se encuentra desarrollado mediante HTML, CSS y JavaScript, así:

**Figura 17**  
Capa de presentación

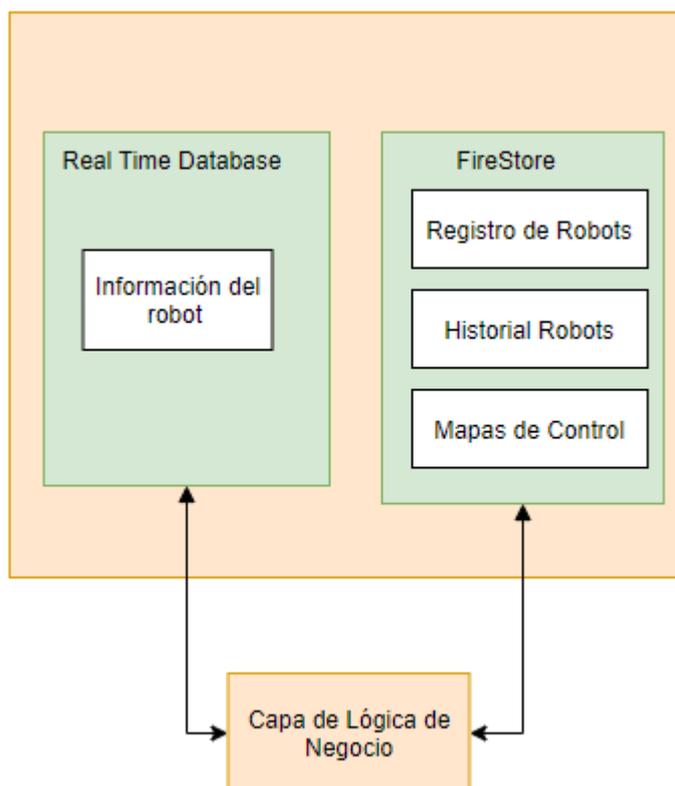


### Capa de persistencia.

En esta capa engloba las bases de datos empleadas para la persistencia de la información, que será empleada por el software de control y monitoreo. Para su desarrollo se usó Firebase Real Time DataaBase y FireStore.

La base de datos en tiempo real fue usada para la entrega de los datos obtenida por los robots, y para su control. Mientras que FireStore estuvo a cargo de almacenar los historiales, robots registrados y el mapa de comandos Fuente: (Mejía, 2020) . Como lo muestra la **figura 18**.

**Figura 18**  
*Capa de persistencia.*



### Capa de lógica de negocio.

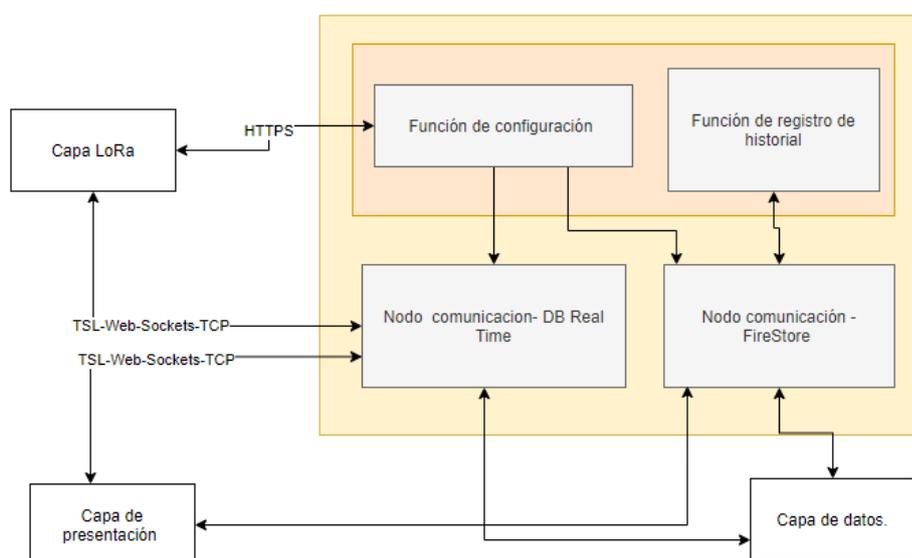
Como toda lógica de negocio se encarga de las diferentes interacciones entre capas, en este caso permite la comunicación entre la capa de presentación, robots y

la capa de persistencia para obtener la información de la base de datos en tiempo real y Firestore. De esta manera asegura la presentación de datos y el control de los robots (Mejía, 2020).

Se encarga del registro del registro y configuración de los robots, y principalmente permite la escritura y lectura de datos en tiempo real de cada robot.

Como lo denota la **figura 19**.

**Figura 19**  
*Capa de lógica de negocio*



### Capa LoRa

Esta capa se encuentra la comunicación del Gateway LoRa con el resto de la arquitectura, para eso esta capa debe tener ciertas características que permita la comunicación con la infraestructura. Esto quiere decir, tener la capacidad de comunicarse con los servicios de la nube, además debe presentar la configuración definida por el sistema (Mejía, 2020), los cuales son:

- Descripción de la funcionalidad la cual sigue el siguiente formato:

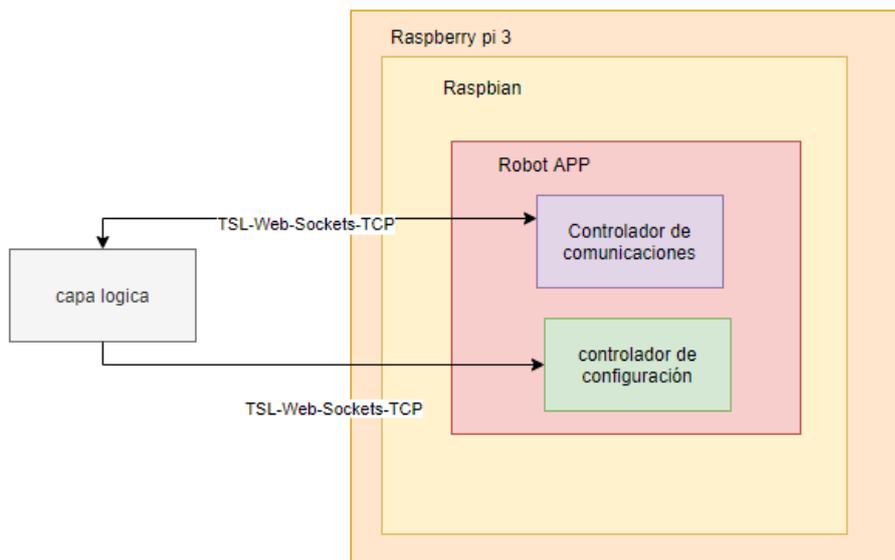
```
robotid @@@
{
  "control_parameter1": value,
  "control_parameter2": value,
  "monitor_parameter1": value,
  ...
}
```

- Mapa de control con el siguiente formato:

```
robotid @@@
{
  "control_parameter1": value,
  "control_parameter2": value,
  "monitor_parameter1": value,
  ...
}
```

Así se detalla en la **figura 20**.

**Figura 20**  
Capa LoRa



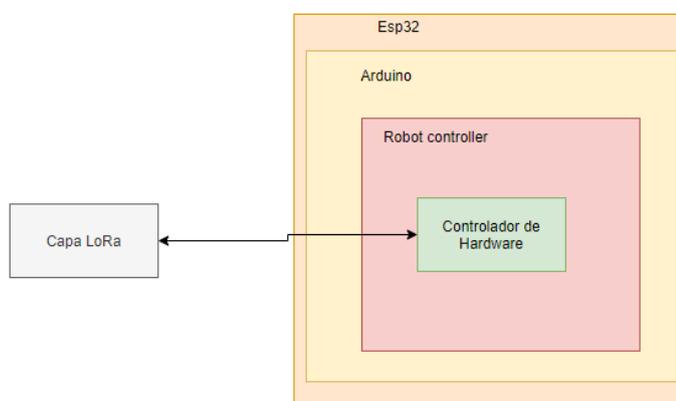
### Capa de Robots.

En esta capa se toma en cuenta a los robots y la comunicación empleando

LoRa con el resto de la arquitectura, esto compone hardware y software para el control y monitoreo de los robots.

En este aspecto el robot solo se encarga de la recepción de los datos y él envió de lo mismo, empleando el nodo lora, hacia el Gateway LoRa, además claro está de la aplicación de los movimientos al robot y la lectura de los componentes que esté presente, como podemos ver en la **figura 21**.

**Figura 21**  
*Capa de Robots*

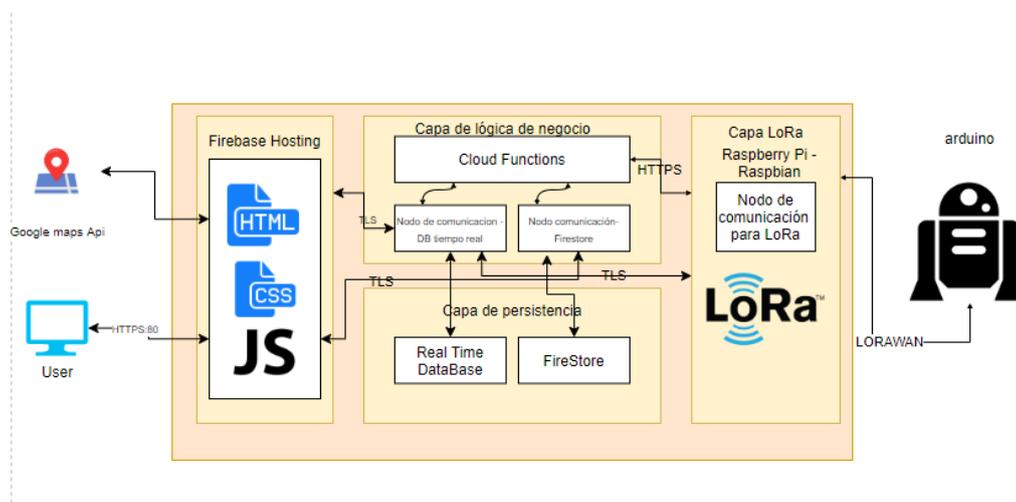


### Esquema de arquitectura

La infraestructura del sistema está definida por las diferentes capas previamente detalladas, en las figuras 19, 20 ,21, 22 y 23. De una manera general podemos verla en la **figura 22**.

**Figura 22**

Infraestructura del todo el sistema de monitoreo y comunicación de robots



## Seguridad

En todo sistema una de las cualidades más importantes lo toma la seguridad, gracias al uso de FireBase asegura la comunicación y transmisión de datos mediante un componente adaptable.

Las conexiones son aseguradas mediante conexiones TSL, en pocas palabras se crea una comunicación segura y encriptada, cada endPoint puede agregar elementos de autenticación como Json Web Tokens o medios Firebase.

Con lo que respecta a la base de datos, es posible definir reglas de lectura y escritura, y esta puede ser especificada para cada robot o en el caso de los accesos a FireBase. De la misma manera FireBase accede mediante una cuenta de Google, mediante datos de autenticación y llaves, prohibiendo el acceso a quienes no las tengan. Para finalizar los datos que se encuentran en los robots no ofrecen los datos necesarios para conocer la infraestructura, porque dichos elementos se encuentran en la nube resguardados por la seguridad de la empresa en este caso Google (Mejía, 2020).

## Capítulo 4

### Validación de la arquitectura

#### Introducción

Determinado el diseño de la arquitectura es necesario validarlo empleando un prototipo, de control y monitoreo de robots empleando LoRa como medio de comunicación, así mismo es necesario realizar pruebas para determinar si es válida o no la infraestructura, así podremos concluir si ayudara en una operación de búsqueda y rescate.

Para la validación del prototipo se empleo un ambiente controlado, mediante pruebas de calidad de servicio (QOS). Se empleo un laboratorio porque esta arquitectura se propone como una continuación de (Mejía, 2020), para aumentar el alcance, así mismo para determinar si esta mejora es o no efectiva. El ambiente permitió controlar las variables que afectan la arquitectura, que características son favorables, dificultades y limitaciones.

QOS se centra básicamente en términos de latencia, rendimiento y transferencia de información, principalmente porque estas características permiten el correcto funcionamiento de la infraestructura y las condiciones necesarias. De esta manera podemos conocer cuál es el uso adecuado del sistema de control y monitoreo, y finalmente conocer cuál es la utilidad de este en una operación de búsqueda y rescate.

#### Herramientas

##### Herramientas de monitoreo

Este tipo de herramientas da a conocer la información enviada, tiempos de

respuesta y el rendimiento, cuando las pruebas fueron llevadas a cabo. Las cuales son:

ASCII, paquetes dependiendo de filtros, etc. (The Tcpdump Group, 2020).

### **Firestore Analytics**

Firestore Analytics nos permite conocer el comportamiento de nuestra aplicación, podemos conocer hasta 500 eventos definidos por el SDK, así podemos conocer el uso de los clientes y aumentar o mejorarla (Firestore- Google Analytics, n.d.).

### **Herramientas de red.**

Esta sección corresponde los componentes de hardware necesarios para realizar las pruebas,

- Router 1: Samsung J4 empleado como Mobile Hotspot
- Router 2: Router Huawei HG532S
- Nodo Lora: ya que los datos no serán enviados mediante el protocolo tcp/ip, necesitamos este dispositivo esp32 para conocer los datos recibidos, y así conocer el desempeño.

### **Entorno de prueba**

#### **Entorno General**

El ambiente de prueba debe tomar en cuenta las funcionalidades de la arquitectura y de la misma manera cada una de las capas. Se define de la siguiente manera:

- Funcionalidad: Registro de robots, Control de robots, Monitoreo de robots.

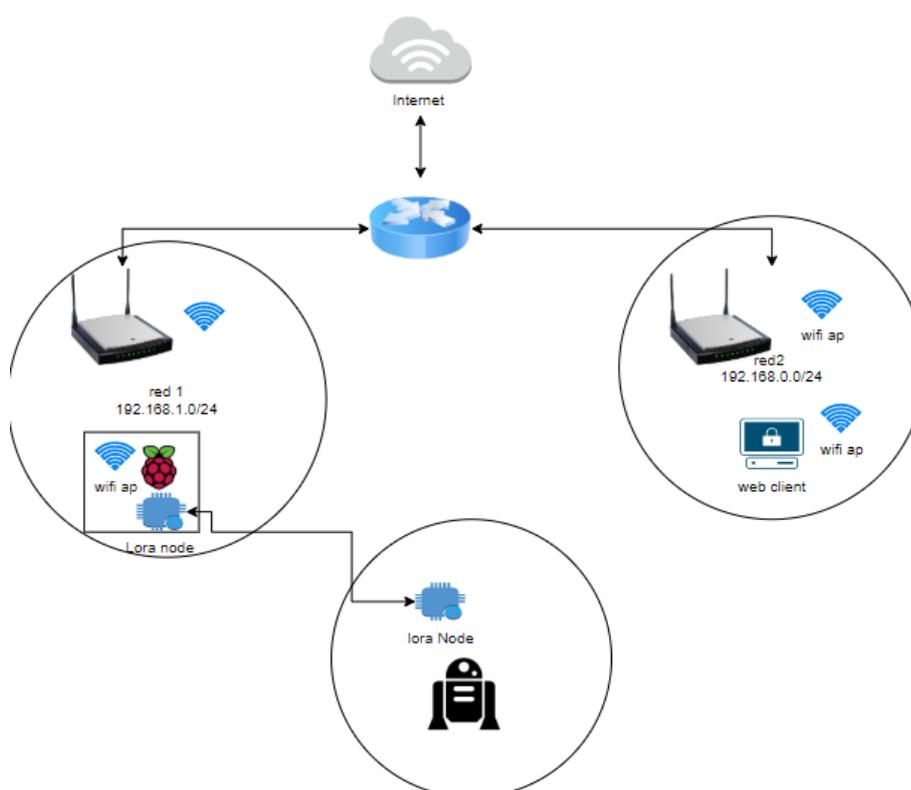
Capas: Cliente, servicios serverless, LoRa y Robot

En base a esto se describen los casos de prueba necesarios para el correcto funcionamiento de la infraestructura.

### Entorno Físico

**Figura 23**

*Entorno General de Pruebas*



El entorno consta de 2 redes completamente independientes, eso quiere decir que no se encuentren conectadas de ninguna manera. De la misma manera deben tener una conexión a internet. Además, es necesario que cada nodo pueda ser monitorizado, de la misma forma los servicios serverless. Así tenemos:

- Primera red: entorno donde se encuentra el cliente.
- Segunda red: Entorno donde se encuentra la conexión mediante los dispositivos LoRa para enviar información al robot.

- Red LoRa: donde se encuentran los robots conectados mediante el nodo LoRa a la red principal, esperando instrucciones y enviando datos de los sensores.
- Nube: Lugar donde se encuentran alojados los servicios para el control del robot.

### **Procesos.**

Según (Mejía, 2020), podemos determinar que existen procesos los cuales podemos llamar primordiales, es decir que garantizan el correcto funcionamiento de la infraestructura, en su mayoría está centrado en los robots, por lo cual tenemos:

- Pruebas de monitoreo y control: corresponde de al uso del robot, esto abarca el movimiento y el monitoreo de los sensores.

### **Casos de prueba.**

#### **Generalidades**

La infraestructura planeada fue probada en diferentes condiciones para conocer su funcionamiento, es decir qué condiciones dificultan su operación y cuales lo facilitan. Las pruebas que se llevaron a cabo se centraron en la prueba de transmisión de datos, y la entre el nodo central y los nodos finales (distancia), para entender los escenarios en los cuales el funcionamiento es correcto.

Para esto se definen:

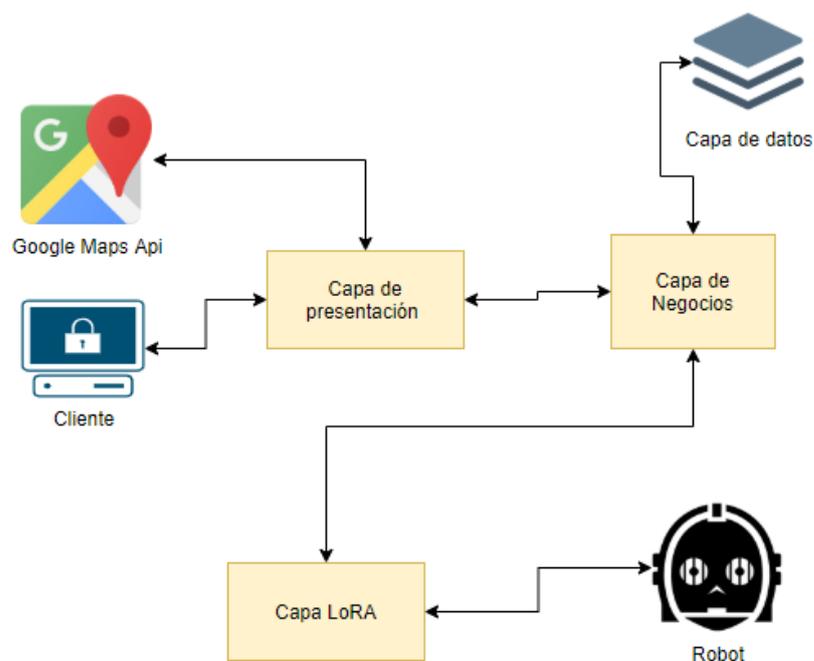
- Pruebas en torno a la comunicación entre la capa lora y el robot, en función a la distancia.

#### **Pruebas en torno a la comunicación entre la capa lora y el robot**

En este caso se usó, se propone diferentes radios de alcance, en base a la distancia del nodo principal y el nodo perteneciente al robot. Así podremos conocer

el comportamiento de la comunicación entre el robot, la nube y el cliente web.

**Figura 24**  
*comunicación entre el robot, la nube y el cliente web*



Para realizar la prueba se definió los siguientes rangos 100m, 200m, 300m, 400m, 500m, 600m, 700m, 800m, 900m, 1km, 2km, 3km, 4km, 5km. En base acaso reales de implementación en ambientes de agricultura (Wang, 2018).

No se cuenta con una herramienta especializada para medir los paquetes de lora, su evaluación se llevó mediante pruebas de datos enviados y recibidos. Para posteriormente evaluar y llegar a sus respectivas conclusiones.

## Resultados

### Elementos a analizar.

#### RTT

Corresponde al Round Trip Time, es decir al tiempo del ciclo de vida al enviar y recibir la respuesta desde el receptor. En síntesis, se refiere al tiempo con él envió

de un paquete y recibe un ACK de confirmación por su recepción. Nos permite conocer el rendimiento de red y el tiempo de respuesta entre el cliente y servidor (Comer, 2000).

#### **Porcentaje de carga de servicios en la base de tiempo real.**

Corresponde a la cantidad de datos usados en la base de tiempo real. Una vez estos llegan al 100%, ocurren dificultades en el rendimiento y velocidad. Esta información nos permite conocer el número máximo de peticiones y dispositivos que pueden conectarse simultáneamente (Google, n.d.).

#### **Transferencia de datos.**

Define la cantidad de información descargada, perteneciente a la base de datos en KiloBytes o número de lecturas. Nos permite conocer el uso de la base de datos por cada dispositivo conectado (Google, n.d.).

#### **Almacenamientos de datos.**

Este dato se da a conocer, mediante la cantidad de datos guardados en la base de datos o bases utilizadas. Nos permite determinar el uso de los servicios por dispositivo conectado (Google, n.d.).

#### **Resultados de las pruebas basadas en la comunicación de los nodos, en base a su distancia.**

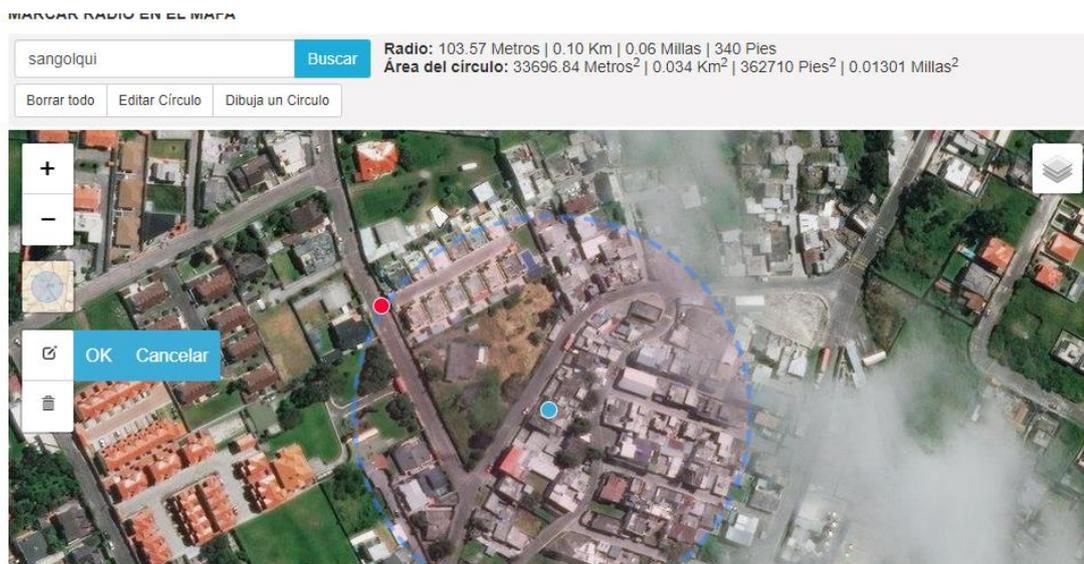
La configuración inicial del robot no constituye una prueba para la infraestructura, porque las variables de entorno no cambian. Es decir, no existe variación en los parámetros óptimos para su registro. Así estas pruebas se centraron en la comunicación entre los nodos LoRa, para conocer cuál es el radio de alcance en un ambiente irregular.

### Pruebas a una distancia de 100 metros.

En resumen, esta prueba se llevó a cabo, ubicando el robot a 100 metros del nodo principal como lo define la **figura 25**.

**Figura 25**

*Prueba con un radio de 100 metros*

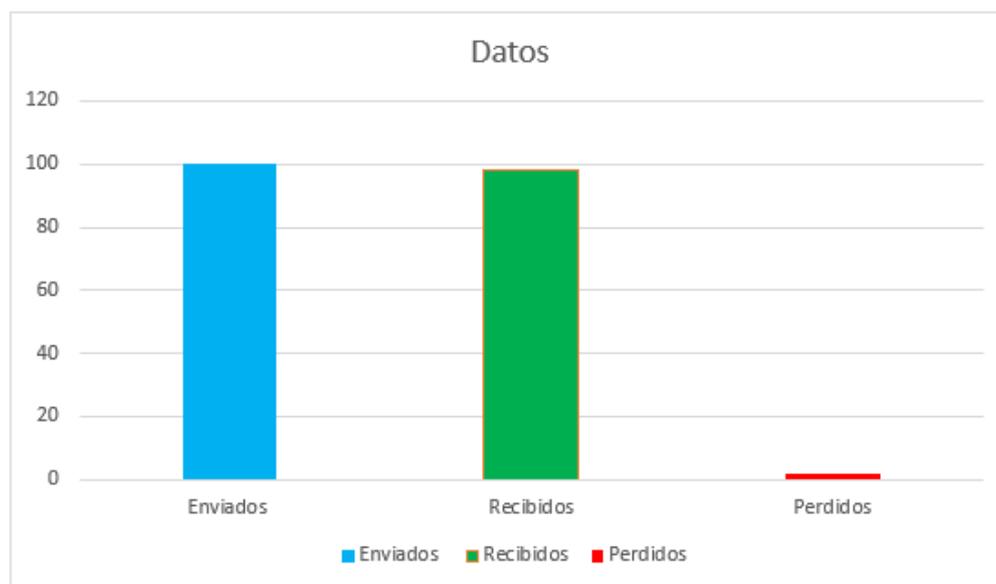


*Nota:* tomado de Google Maps

El resultado de los datos enviados, recibidos y perdidos los podemos ver en la **figura 26**.

**Figura 26**

*Resultados con una distancia de 100 metros*



Discusión.

Como podemos ver a una distancia de 100 metros, él envió de datos es bastante eficiente, alrededor del 98% de la información enviada es recibida, tan solo el 2% representan datos perdidos.

### Pruebas a una distancia de 200 metros.

Esta prueba se llevó a cabo al tener una distancia de alrededor de 230 metros desde el nodo principal hasta el robot. Como podemos ver en la **figura 27**.

#### Figura 27

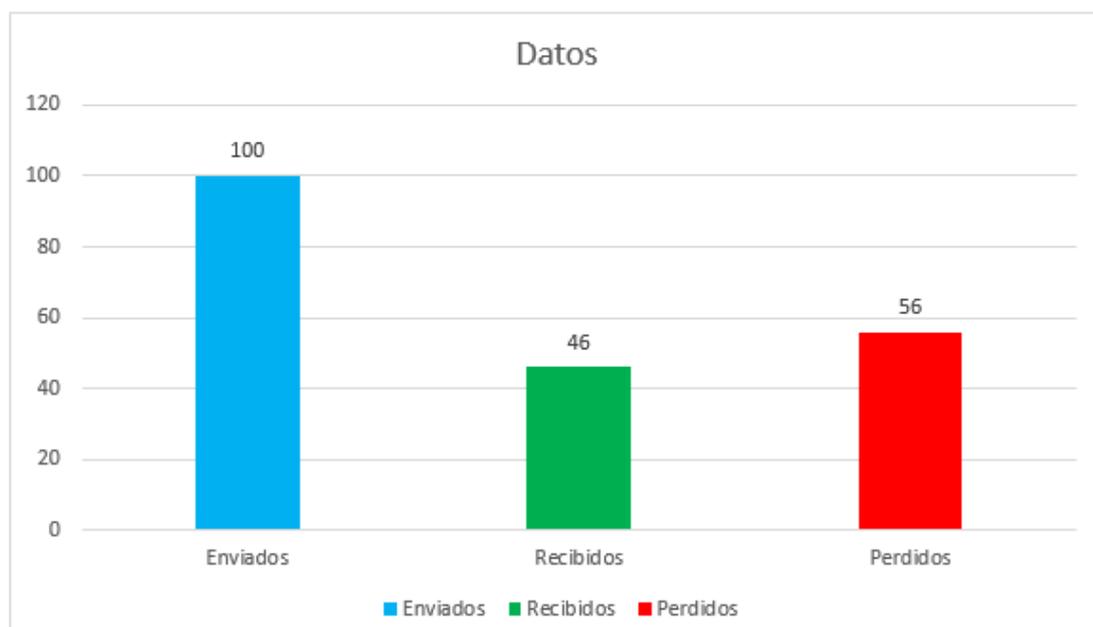
*Prueba con un radio de 200 metros*



*Nota:* tomado de Google Maps.

El resultado de los datos enviados, recibidos y perdidos los podemos ver en la **figura 28**.

**Figura 28**  
*Resultados con una distancia de 200 metros*



Discusión.

En este caso podemos ver que existieron más datos perdidos, que aquellos recibidos por el robot. Esto se debe principalmente a la existencia de casas entre el nodo principal y el robot. En resumen, podemos decir que se perdió un 56% de la información.

#### **Pruebas a una distancia de 200 metros.**

Esta prueba se llevó a cabo para demostrar las repercusiones de tener objetos en medio de la comunicación, así se buscó un lugar un poco más libre de interferencias para el medio, como lo define la **figura 29**.

**Figura 29**

Prueba con un radio de 200 metros

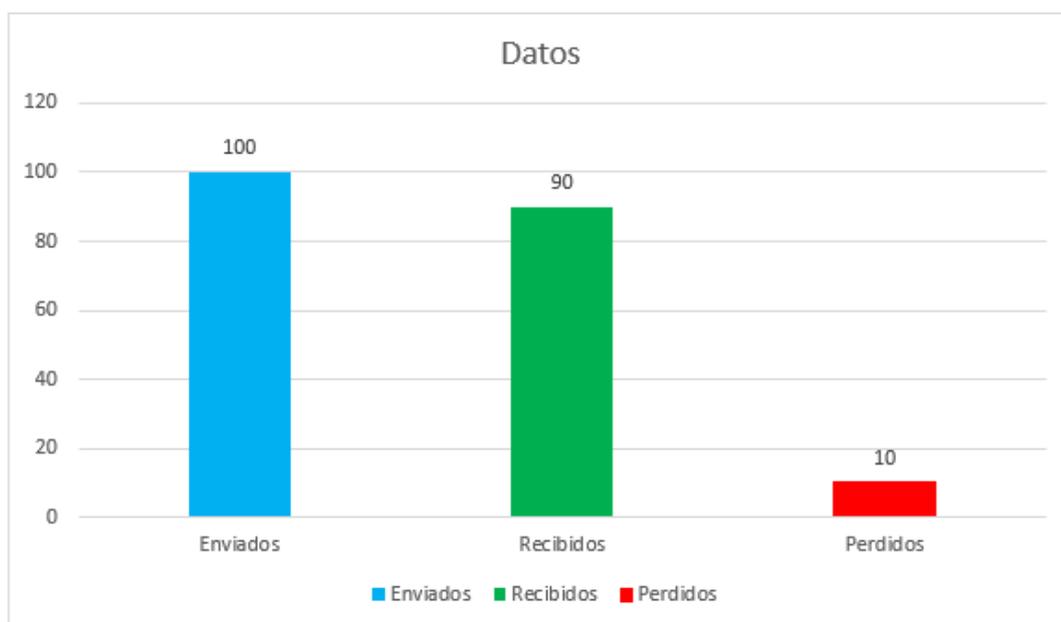


*Nota:* tomado de Google Maps

El resultado de los datos enviados, recibidos y perdidos los podemos ver en la **figura 30**.

**Figura 30**

Resultados con una distancia de 200 metros



Discusión.

Como podemos observar, la presencia de objetos en el medio si dificultan la transferencia de información, en uno más limpio aun a distancias similares, los resultados son bastante diferentes. Aquí el 90% de los datos llegaron.

### Pruebas a una distancia de 290 metros.

Esta prueba se llevó a cabo para definir cuál es la distancia máxima que se puede llegar en el ambiente disponible, distancias posteriores a esta tuvimos una pérdida de datos del 100%, principalmente por la presencia de casas, terrenos elevados, en fin, la irregularidad de la zona. Así podemos ver el punto de prueba en la figura 31.

**Figura 31**

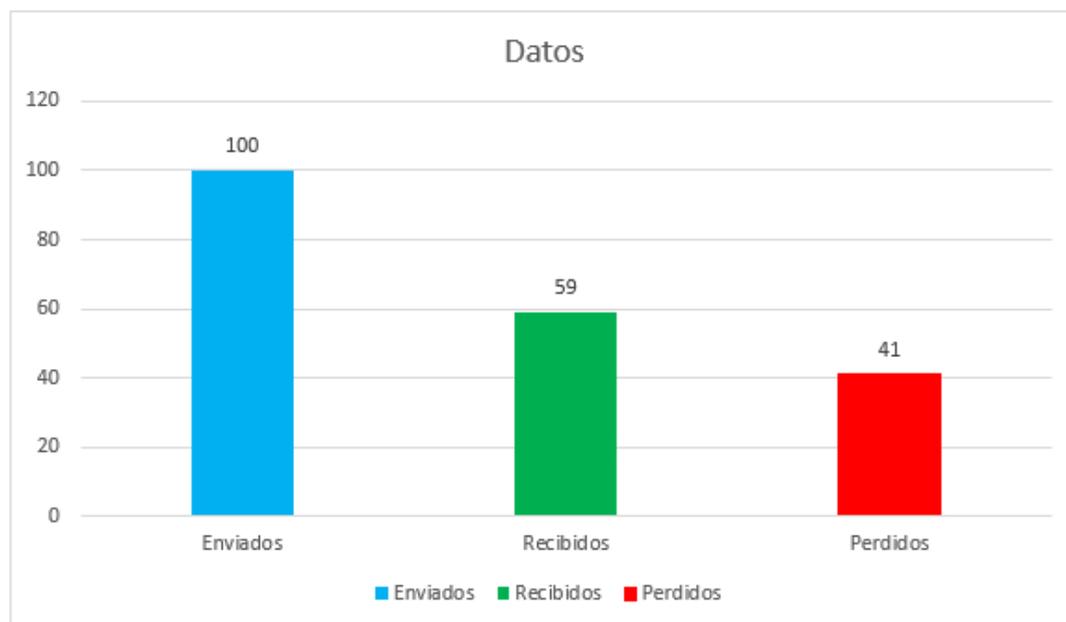
*Prueba con un radio de 290 metros*



*Nota:* tomado de Google Maps

El resultado de los datos enviados, recibidos y perdidos los podemos ver en la **figura 32.**

**Figura 32**  
*Resultados con una distancia de 290 metros.*



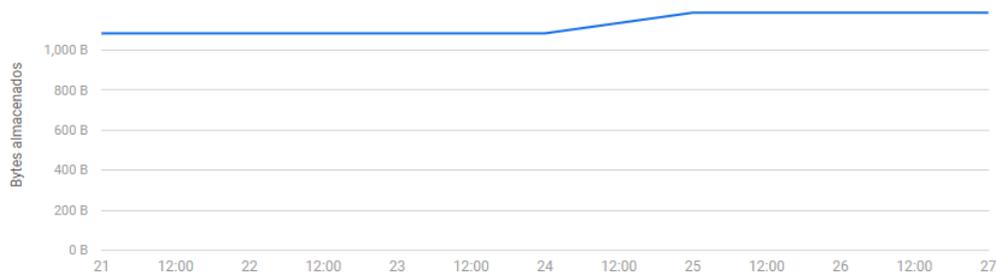
Discusión.

En este caso, podemos aseverar que la presencia de objetos, ciertamente entorpece la comunicación. Aun a una mayor distancia se pudieron recibir el 59% de la información transmitida.

### **Rendimiento de los servicios en la nube.**

#### **Firestore (Real Time Database)**

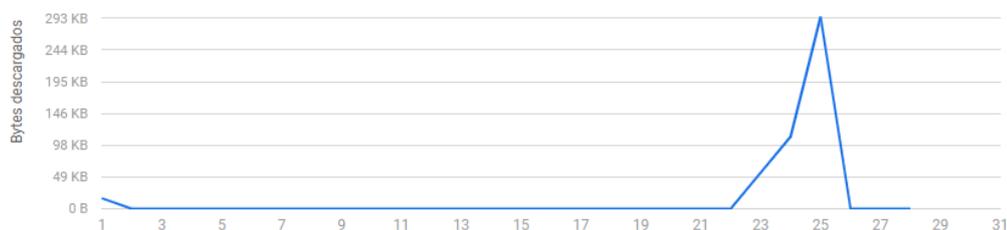
El mayor uso de recurso se ve representado en la base en tiempo real, este permite el funcionamiento de la arquitectura y por consecuencia el control del sistema. Así debemos determinar el su uso, entre esta información tenemos el almacenamiento, las descargas de información como las subidas de información. Estableciendo estos datos como punto de referencia podemos determinar la cantidad de conexiones posibles y proyectar los costos de operación. Podemos ver más detalladamente en la **figura 33**.

**Figura 33***Almacenamiento de la Base de datos*

*Nota:* tomada de Google

El almacenamiento de la base de datos en tiempo real corresponde a 1.2KB, esto se ve reflejado en 12 colecciones, bastante simples en este caso, registrando en su mayoría el control del robot. Esto representaría alrededor de 100 bytes.

Una base de datos en Google tiene un valor de 5 dólares por GB de información, poniéndolo en contexto, esto representa 6 millones de colecciones similares a las empleadas en este prototipo, por cada dólar (Google, s.f.). Veamos el uso en descargas en la **figura 34**.

**Figura 34***Datos descargados de la Base*

*Nota:* tomada de Google.

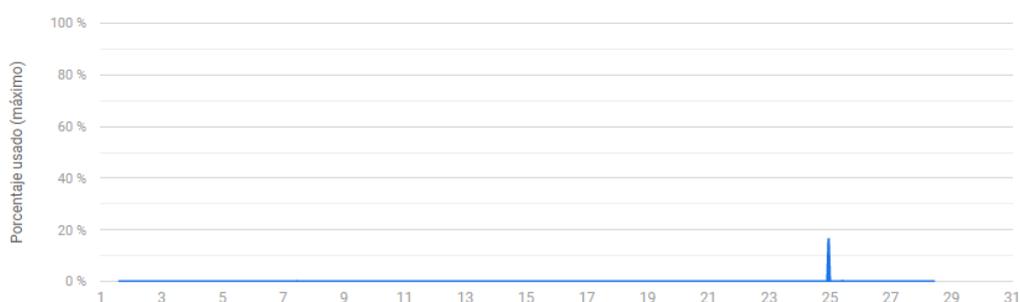
En las pruebas realizadas se descargaron alrededor de 500KB, tomando en cuenta el principal uso de datos representado por el cliente web. Las pruebas fueron

intermitentes por un intervalo de una hora.

Según (Google, s.f.) el GB descargado cuesta un dólar. Dependiendo de la complejidad de la información descargada representara la demanda de esto, y también costo final. Por otra parte, tenemos que conocer el uso de la base de datos, esta se ve representada en la **figura 35**.

**Figura 35**

*Uso de la base de datos.*



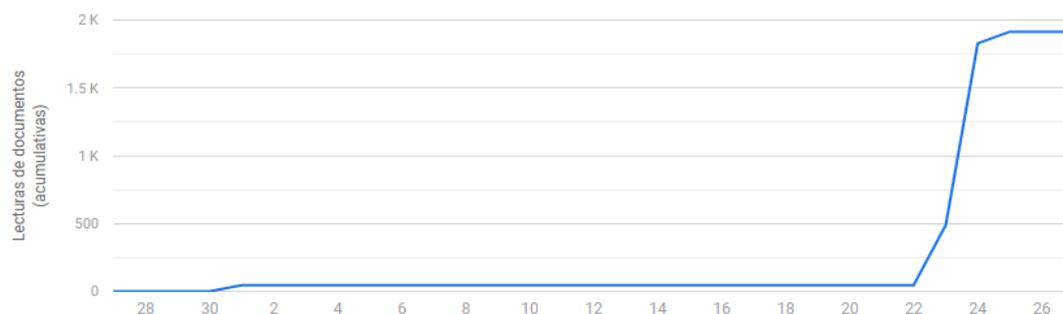
*Nota:* tomada de Google

Como Podemos ver el uso de la base de datos ronda el 17% con 3 conexiones simultaneas, por un periodo de pruebas de una hora. En las pruebas se realizó mediante el uso de un robot. Tomando en cuenta que el número de conexiones simultaneas permitidas por Firebase son 200000 (Google, s.f.).

### **Firestore**

El almacenamiento de datos relacionados al registro de robots, la configuración del control y así mismo el historial de las misiones se ve reflejado en Firestore. Si bien es cierto con constituye el núcleo de la infraestructura, es bastante usada en el funcionamiento del sistema. Así podemos conocer sus lecturas y escrituras llevadas a cabo en las pruebas. Como podemos ver en la **figura 36**.

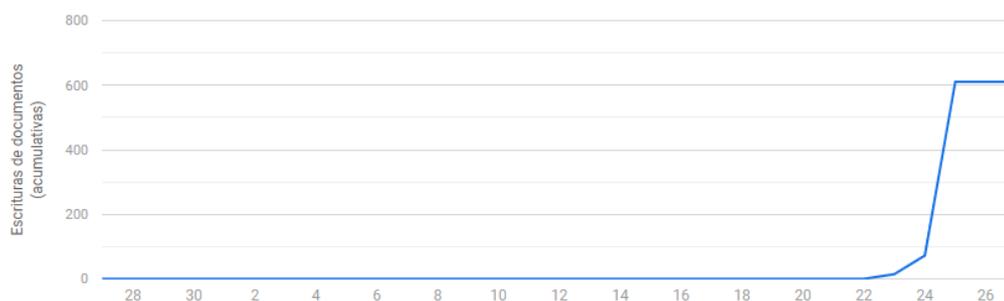
**Figura 36**  
Lecturas de datos en FireStore



*Nota:* tomada de Google

Las pruebas realizadas el 24 y 26, se resumen en 1.9K de lecturas. Estas son debido a la solicitud del cliente web de datos e información de los robots. Así pues, 100K de lecturas representa o tiene un costo de 6 centavos de dólar según (Google, s.f.). Por otro lado, podemos ver las escrituras en la **figura 37**.

**Figura 37**  
Escrituras en FireStore.



*Nota:* tomado de Google.

En el periodo de pruebas se realizaron 600 escrituras que representan en el historial de los robots, y el registro de los mismos. De la misma manera 100K en escritura equivale a 18 centavos de dólar según (Google, s.f.).

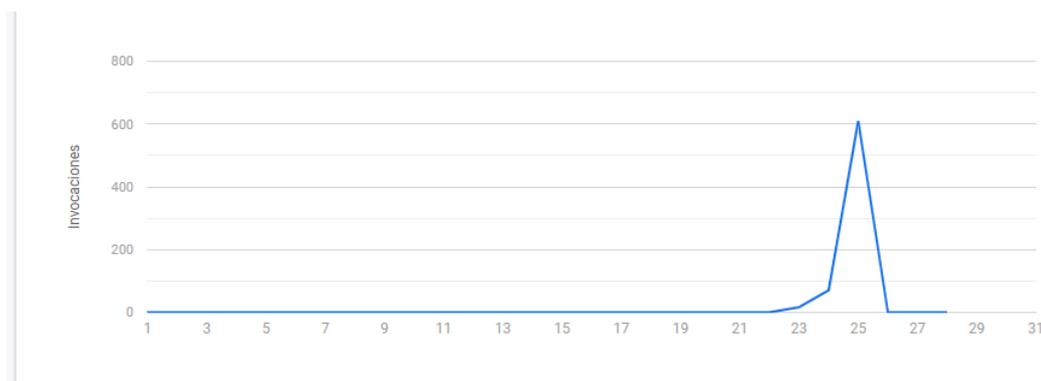
### Cloud Functions.

El control y el monitoreo el sistema se lleva a cabo mediante eventos,

invocados por las Cloud Functions, en su mayoría son empleados para guardar datos en Firestore. Así podemos conocer las invocaciones y proyecta un costo, lo podemos ver de una manera más detallada en la **figura 38**.

**Figura 38**

*Innovaciones de Cloud Functions*



*Nota:* tomada de Google.

El número de invocaciones totales fueron 696, dichas invocaciones corresponden al registro de los robots y registro de las acciones (historial). Así mismo podemos deducir que mientras más robots se encuentre en el sistema, más invocaciones se realizarán. (Google, s.f.) cobra cada 1 millón de invocaciones por 40 centavos de dólar.

## Capítulo V

### Análisis e interpretación de resultados

#### Introducción

Realizada la infraestructura para el control y monitoreo de robots de búsqueda y rescate, implementando una comunicación mediante LoRa, y así mismo ejecutadas las pruebas, necesitamos llevar a cabo un análisis de los resultados obtenidos. De esta manera es posible comprender la ayuda que esta aportara, a una operación de búsqueda y rescate urbano, además de determinar sus limitaciones.

Mediante la información obtenida de las pruebas, se pudo llegar a diferentes conclusiones, estas corresponden al rendimiento de la infraestructura, su efectividad en el control y monitoreo de robots, dependiendo de la distancia que esta presenta del nodo central.

Gracias a estas diferentes pruebas, análisis y conclusiones pudimos determinar los componentes necesarios para un desempeño óptimo de la infraestructura en una operación de búsqueda y rescate. Adicionalmente pudimos determinar limitaciones presentes en la infraestructura propuesta, con lo cual se presenta diferentes estrategias posibles para quitar dichas desventajas o su defecto minorizar el impacto en el sistema.

### **Análisis de resultados.**

#### **Análisis a la configuración de los robots.**

La configuración inicial de los robots corresponde a una operación sencilla, en simples palabras se el robot invoca 2 servicios REST que permiten su registro y acceso al sistema de control y monitoreo. Si bien es cierto es cierto tiene una buena cantidad de datos, no represento una molestia para la implementación de la infraestructura, principalmente, porque la nueva funcionalidad de comunicación mediante en LoRa se encuentra en una capa más baja. Sin embargo, aun así, es necesario si su rendimiento fue afectado u entorpecido.

Los parámetros utilizados para esta prueba, en lo que respecta al ancho de banda se encuentra en el intervalo permitido, y definido previamente por (Mejía, 2020), así podemos concluir que el comportamiento de esta sección de la funcionalidad es adecuado, e implementar una comunicación mediante LoRa no minimiza su rendimiento.

#### **Análisis del control y monitoreo.**

En lo que respecta al funcionamiento del control y monitoreo de los robots, no se ven afectados dentro de los 100 metros, es decir que los datos recibidos y enviados no se ven completamente afectados en lo que respecta de pérdida de información o latencia. Evidentemente es preferible enviar datos sencillos, además de tomar en cuenta el tamaño máximo de paquete definido por LoRaWAN (25kbps). Así mismo la configuración de control no debería ser tan compleja o extensa, de la

misma manera se aplica a los datos para la monitorización.

Por otra parte, cuando la infraestructura se enfrentó a 200 metros con una gran cantidad de obstáculos, entre los cuales tenemos, casas, lomas, carros, etc. Pudimos observar una gran cantidad de datos perdidos incluso superando el 50%, así mismo pruebas a la misma distancia, con una menor cantidad de obstáculos, presenta un comportamiento bastante aceptable, en el cual solamente el 10% de los datos se perdieron, incluso a una distancia y casi 300 metros y relativamente una menor cantidad de obstáculos, se produjo una recepción de datos por encima del 50%.

En el uso del sistema se pudo ver claramente una latencia de alrededor de 250ms, o cual no representa un tiempo demasiado grande para comprometer el funcionamiento del sistema (Jota & Kämäräinen, 2017). Y también no supera el nivel de latencia que denota (ITU, 2003) de 400ms para una comunicación en red.

Si bien es cierto teóricamente el alcance de LoRa son 5Km, estos son con línea de vista, sin embargo, en una operación de búsqueda y rescate, el terreno siempre ha sido impredecible y los obstáculos siempre existirán, así mismo la señal se verá atenuada por dichos objetos. Así se procuró un ambiente en cierta medida parecido a una situación real.

#### **Análisis de los servicios en la nube.**

La implementación de un servicio en la nube nos permitió un despliegue más sencillo de la infraestructura, sin embargo, no pone en una posición un poco desfavorable, en su mayoría por depender de servicios usados (Firebase) y claro un gigante que provee este servicio (Google). Lo cual nos pone hasta cierto punto a su

merced, pero incluso con eso, el sistema fue desplegado sin mayor problema. Y también debemos tomar en cuenta que el costo de cada operación dependerá de cuanto se use de la misma, en pocas palabras mientras más compleja sea la operación será más costoso el servicio.

El costo de la infraestructura se refleja dependiendo de los componentes empleados y los recursos de la nube utilizados.

### **Utilidad en operaciones de búsqueda y rescate urbano.**

La infraestructura propuesta pretende ser de ayuda en las operaciones de búsqueda y rescate empleando una comunicación LoRa, para aumentar el área del alcance de los robots, y así poder ejecutar las operaciones de búsqueda y rescate urbano sin mayor dificultad. De esta manera cumplir con las etapas de una operación propuesta por INSARAG (preparación, movilización, operación, desmovilización y post-misión) (INSARAG, 2016).

En general el comportamiento del sistema rinde de una manera adecuada, las pruebas realizadas a los componentes nos muestran, la potencialidad de la infraestructura y el apoyo que esta representaría en una operación de búsqueda y rescate. La latencia es alrededor de los 250ms, aun que se siente no dificulta al extremo su uso.

Por otra parte, la propuesta presenta una gran flexibilidad y adaptabilidad en lo que respecta a los robots, es decir el robot podría tener diferentes componentes lo cual aumentaría su funcionalidad en una operación de búsqueda y rescate, y aun con esto el sistema no presenta una gran necesidad de cambios sustanciales. Por el lado de cliente, si bien es cierto se emplea una página web para su control, esto no

limita solamente a la web, se podría implementar un comando vía móvil, o mediante algún dispositivo con capacidad interactuar con Internet.

La capa LoRa de la misma manera que los robots es escalable, solamente con la implementación de antenas que permitan aumentar el área de transmisión, e incluso mediante la implementación de nuevos dispositivos como Gateway, u otros que implementen una mayor cantidad de canales para comunicación.

Finalmente, en lo que respecta a robots, la infraestructura es bastante permisible para integrar unidades terrestres como aéreas, la única limitación posible es que dicho robot debe tener acceso al nodo lora (ESP32) para su comunicación. O en su defecto a modulo lora que se implemente para la comunicación.

#### **Limitaciones.**

La propuesta planteada en este trabajo de titulación, presenta un comportamiento y funcionalidad correctas, sin embargo, aun presenta ciertas limitaciones en lo que respecta a una operación en un campo real.

Si bien es cierto ya no implementa una conexión mediante una comunicación WIFI, lo cual aumenta el alcance en alrededor de 300%, no necesariamente abarcaría el área afectada completamente.

La implementación de una arquitectura basada en serverless, convierte la configuración e implementación en un trabajo sencillo. Pero quedamos a merced del proveedor, y de sus configuraciones.

Para finalizar podemos decir que el comportamiento de la infraestructura es adecuado, además su funcionalidad, escalabilidad y simplicidad nos proveen una propuesta muy interesante. Sin embargo, es necesario mejorar el ambiente de

pruebas, y de esta manera garantizar que la infraestructura trabaja correctamente en ambientes más reales o cercanamente parecidos a una operación de búsqueda y rescate.

## Capítulo VI

### Conclusiones y líneas de trabajo futuro

#### Conclusiones

En el presente trabajo de titulación expone una infraestructura para el control y monitoreo de robots de búsqueda y rescate, fácil de usar, simple y escalable, buscando aumentar el área de búsqueda mediante la implementación de una red LoRa.

Para llegar a esta meta se realizó un estudio preliminar determino el uso de Wifi con un alcance de hasta 100 metros y Bluetooth con 10 metros como medio de comunicación por parte de los robots, e incluso propuestas para crear una red Wifi utilizando los robots, aumentando el área, pero también el tráfico de datos. De esta manera se establece que la limitación de los métodos tradicionales se encuentra en medio empleado para el envío y recepción de datos.

Posteriormente se analizaron las diferentes propuestas para la comunicación entre robots de búsqueda y rescate, donde se encontraron la implementación de una red satelital, el uso de SigFox en un campo de cultivos para recolección de información, e incluso casos simples de control de robots mediante aplicaciones móviles, con estos datos y de la mano los estándares denotados por organizaciones internacionales, en este caso INSARAG, en lo que respecta a operaciones de búsqueda y rescate.

Para posteriormente definir las funcionalidades de la infraestructura.

La propuesta en general contiene las siguientes funcionalidades:

- Registro del robot
- Monitoreo del robot
- Control del robot

El funcionamiento de la arquitectura usa Firebase de esta manera los robots podrán acoplarse a la infraestructura mediante una estructura de su funcionalidad y un mapa de control, la comunicación está basada en dispositivos ESP32, lo cual aumenta el área de búsqueda permitiéndole al robot un rango más amplio de operación, y así mismo elevar la eficacia de la operación de búsqueda y rescate.

Se ejecutaron pruebas en un entorno controlado en el cual se podía aumentar o disminuir la distancia entre el robot y el nodo central. Así nos ayudaron a determinar los principales problemas al implementar una comunicación en base de LoRa, como pudimos ver en los resultados el rango operación aumento en un 300% con respecto al anterior medio de comunicación (Wifi) además el tiempo de latencia total ronda los 250 ms, por otra parte, los objetos pueden llegar a interferir con los datos enviados, incluso provocar que más del 50% de información se pierda.

Finalmente, podemos decir que la implementación de una comunicación empleando LoRa no aumento significativamente el tiempo de comunicación, y el robot se desempeño correctamente en áreas donde la interferencia no era significativa. Por lo cual será de ayuda en una operación de búsqueda y rescate. E incluso cuando el terreno sea irregular, aún tiene más rango que una conexión a Wifi.

#### **Líneas de trabajo futuro.**

Si se sigue con la implementación de comunicación mediante dispositivos

LoRa, es necesario usar antenas más potentes, dispositivos con una mayor cantidad de canales o netamente dispositivos más aptos para comunicar datos sin línea de vista. Finalmente, dichos dispositivos deben presentar la capacidad de conectarse con servicios de la nube o en su defecto poder obtener su data mediante terceros.

La implementación de video Streaming es una opción muy viable para controlar mejor el movimiento del robot, además de integrarlo como componente propio de la infraestructura. Sin embargo, se deberá tomar en cuenta el tamaño máximo de datos posible que se puede enviar implementando LoRAWAN.

Finalmente es necesario implementar pruebas de QoS más cercanas a la realidad de un desastre natural, de esta manera se podrá validar a ciencia cierta la utilidad de la infraestructura en una operación de búsqueda y rescate. Así podremos identificar de una manera más certera el funcionamiento tanto de los robots como la infraestructura, y no está por demás decir que podríamos estimar el costo real.

## Bibliografía

- Agapiou, M. S. (2015). Factors that affect rescue time in urban search and rescue (USAR) operations. *Springer Link*, 10.
- Albatross. (n.d.). *cplusplus*. Retrieved from A Brief Description: <https://www.cplusplus.com/info/description/>
- Alex, C. (2016). Autonomous Cloud Based Drone system for Disaster Response and Mitigation. *2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA)*, 4.
- Álvarez, J. C. (2019). *Beneficios del uso de ROV's en las operaciones de Búsqueda y Rescate del Grupo de Salvamento de la Marina de Guerra del Perú*. Universidad de Pura.
- Automatio, 2. I. (2018). Design and Implementation of Debris Search and Rescue Robot System Based on Internet of Things. *2018 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation*, 5.
- BOHÓRQUEZ, G. R. (2004). Robotics in search and urban rescue activities. Origin, present time and perspectives. *Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"*, 6.
- Carla Mouradian, S. Y. (2018). Robots as-a-Service in Cloud Computing: Search and Rescue in Large-scale Disasters Case Study. *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference*, (p. 7). Canada.
- Center for Disease Control and Prevention. (2019, 1 18). *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*. Retrieved from Natural Disasters: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/emres/natural.html#:~:text=Natural%20disasters%20can%20cause%20great,volcanic%20eruptions%2C%20and%20extreme%20temperatures.>
- Chen, W., Yaguchi, Y., Naruse, K., Watanobe, Y., Nakamura, K., & Ogawa, J. (2018). A Study of Robotic Cooperation in Cloud Robotics: Architecture and Challenges. *IEEE Access*, 21.
- Chowdhury, A. R. (2017). IoT and Robotics: A Synergy. *PeerJ Preprints*, 6.
- Cloud Functions para Firebase. (n.d.). *Cloud Functions para Firebase*. Retrieved from Cloud Functions para Firebase: <https://firebase.google.com/docs/functions>
- Coelho, G. K. (2015). An IoT-Enabled Modular Quadrotor Architecture for Real-Time Aerial Object Tracking. *2015 IEEE International Symposium on Nanoelectronic and Information Systems.*, 6.
- Comer, D. E. (2000). *internetworking with tcp/ip principles protocols and architecture*. Prentice Hall.
- DRAGINO. (2019, 05 14). *DRAGINO*. Retrieved from LoRa GPS HAT for Raspberry Pi: <https://www.dragino.com/products/lora/item/106-lora-gps-hat.html>

- Dragino. (2020, 03 16). *DRAGINO*. Retrieved from LG02 Dual Channels LoRa IoT Gateway: [https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa\\_Gateway/LG02-OLG02/LG02\\_LoRa\\_Gateway\\_User\\_Manual\\_v1.6.1.pdf](https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/LG02-OLG02/LG02_LoRa_Gateway_User_Manual_v1.6.1.pdf)
- Eiji Nagatani, S. K. (2011). Gamma-ray irradiation test of Electric components of rescue mobile robot Quince—Toward emergency response to nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on March 2011. *2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, 5.
- Elias Kougianos\*, S. P. (2016). Design of a High-Performance System for Secure Image Communication in the Internet of Things. *IEEE Access*, 19.
- FERNÁNDEZ, J. J. (2015). *Técnicas de búsqueda y rescate en estructuras colapsadas*. Ediciones Paraninfo, S.A.,.
- Firebase- Google Analytics. (n.d.). *Google Analytics*. Retrieved from Google Analytics: [https://firebase.google.com/docs/analytics/?gclid=Cj0KCQjwrlf3BRD1ARIsAMuugNu7\\_7oNyiNtzZNJOLwnEKUEzDGqoC5PI8xaFcTiGXet31OQ\\_Gh4Xf8aAmS1EALw\\_wcB](https://firebase.google.com/docs/analytics/?gclid=Cj0KCQjwrlf3BRD1ARIsAMuugNu7_7oNyiNtzZNJOLwnEKUEzDGqoC5PI8xaFcTiGXet31OQ_Gh4Xf8aAmS1EALw_wcB)
- Firebase. (2020). *Firebase*. Retrieved from Firebase por plataforma: <https://firebase.google.com/docs?authuser=0>
- Firebase- Firebase Hosting. (n.d.). *Firebase*. Retrieved from Firebase Hosting: <https://firebase.google.com/docs/hosting>
- Firebase Realtime Database. (n.d.). *Firebase Realtime Database*. Retrieved from Firebase Realtime Database: [https://firebase.google.com/docs/database/?gclid=CjwKCAjw8df2BRA3EiwAvfZWaDWGWbkw5nyQQqbLhzR84p4e2bW9Tq3WCiKtNQzjJNDsReexd51N8RoCKnsQAvD\\_BwE](https://firebase.google.com/docs/database/?gclid=CjwKCAjw8df2BRA3EiwAvfZWaDWGWbkw5nyQQqbLhzR84p4e2bW9Tq3WCiKtNQzjJNDsReexd51N8RoCKnsQAvD_BwE)
- Firebase-Cloud Firestore. (n.d.). *Cloud Firestore*. Retrieved from [https://firebase.google.com/docs/firestore/?gclid=CjwKCAjw8df2BRA3EiwAvfZWaMfY4pZExnPG70OKhKasHW4k86S6UnABLZtqrVle7Z26WHWnqP0\\_RoCUaUQAvD\\_BwE](https://firebase.google.com/docs/firestore/?gclid=CjwKCAjw8df2BRA3EiwAvfZWaMfY4pZExnPG70OKhKasHW4k86S6UnABLZtqrVle7Z26WHWnqP0_RoCUaUQAvD_BwE)
- FRONTEX. (2016). *FRONTEX EUROPA*. Retrieved from Search & Rescue: <https://frontex.europa.eu/operations/search-rescue/>
- Google. (n.d.). *Google*. Retrieved from Android developers: <https://developer.android.com/things/get-started>
- Heltec Automation Docs. (2019). *Heltec Automation Docs*. Retrieved from ESP32 + LoRa node series: [https://drive.google.com/file/d/15Gd3Zxvqvzugu2\\_4Hlq\\_t-H\\_MRimt13w/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/15Gd3Zxvqvzugu2_4Hlq_t-H_MRimt13w/view?usp=sharing)
- INSARAG. (2002 |). *INTERNATIONAL SEARCH AND RESCUE ADVISORY GROUP*. Retrieved from INTERNATIONAL SEARCH AND RESCUE ADVISORY GROUP: <http://www.insarag.org>
- INSARAG. (2016, 02 18). *INSARAG*. Retrieved from Guia de operaciones: <https://www.insarag.org/methodology/guidelines>

- ITU. (2003). *Search Results*. Genova: Internacional telecommunication union.
- JavaScript. (2020, 05 20). *Javascript*. Retrieved from Javascript:  
<https://www.pluralsight.com/courses/javascript-objects-prototypes>
- Jiko, M. N. (2016). Design and Implementation of Amphibious Smart Rescue Robot .  
*Department of Electrical and Electronic Engineering, Khulna University of Engineering & Technology,, 4.*
- Jota, F. &, & Kämäräinen, S. Y.-J. (2017). A Measurement Study on Achieving Imperceptible Latency in Mobile Cloud Gaming. *ACM Digital Library*, 88.
- Kai Petersen, R. F. (2008). Systematic Mapping Studies in Software Engineering. *School of Engineering, Blekinge Institute of Technology*, 10.
- Kawatsuma, K. N. (2012). Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants using mobile rescue robots. *Search Results*.
- M. J. Escalona, F. J.-M.-G. (2007). *Software Engineering, Standards, Methodologies, Enterprise Content Management, Quality Analysis and Evaluation*.
- Maruyama, K. I. (2016). Semi-autonomous serially connected multicrawler robot for search and rescue. *Advanced Robotics*, 16.
- Maslowsk, T. a. (2014). Training and Support system in the Cloud for improving the situational awareness in Search and Rescue (SAR) operations. *2014 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, 6.
- McCabe, J. (2007). *Network Analysis, Architecture, and Design, Third Edition*. Morgan Kaufmann.
- Mejía, A. (2020). ARQUITECTURA DE CONTROL Y MONITOREO DE ROBOTS PARA BÚSQUEDA Y RESCATE URBANO POR MEDIO DE TECNOLOGÍAS SERVERLESS DE LA NUBE. *ARQUITECTURA DE CONTROL Y MONITOREO DE ROBOTS PARA BÚSQUEDA Y RESCATE URBANO POR MEDIO DE TECNOLOGÍAS SERVERLESS DE LA NUBE*. Sangolqui, Pichincha, Ecuador: Biblioteca Alejandro Segovia.
- Mekki, K. (2017). A Comparative Study of LPWAN Technologies for. *ICT Express*, 6.
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2016, 05). *LEY ORGÁNICA de telecomunicaciones*. Retrieved from Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información:  
<https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Organica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- Mirmojtaba Gharibi, R. B. (2016). Internet of Drones. *IEEE Access*, 15.
- Murphy, J. C. (2003). Human–Robot Interactions During the Robot-Assisted. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 19.
- Ñiquen, E. E. (2015). *Tecnologías de la información y comunicación*. Lima: Fondo Editorial de la UIGV.

- Ortí, C. B. (2011). LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y. *Unidad de Tecnología Educativa.*, 7.
- Petäjärvi, J. (2016). Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Remote. *2016 10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology*, 5.
- programoergosum. (n.d.). *Curso de iniciación a Python en Raspberry Pi*. Retrieved from ¿Qué es Python?: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/244-iniciacion-a-python-en-raspberry-pi/que-es-python>
- Rahman, M. A. (2018). Collab-SAR: A Collaborative Avalanche Search-And-Rescue Missions Exploiting Hostile Alpine Networks. *IEEE Access*, 15.
- Raspberry . (n.d.). *Raspberry* . Retrieved from What is a Raspberry Pi?: <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>
- Raspberry. (n.d.). *Raspberry*. Retrieved from Raspberry Pi OS (previously called Raspbian): <https://www.raspberrypi.org/products/>
- Salinas, J. (1995). Las redes: Ordenadores y telecomunicaciones en la Enseñanza Secundaria. *Research Gate*, 9.
- Sanchez-Iborra. (2016). State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial. *Sensors*, 16(5), 14.
- SARAID UK. (2008). *Search and Rescue Assistance in Disasters*. Retrieved from Search and Rescue Assistance in Disasters: <https://www.saraid.org>
- Satellite Imaging. (2017). *Natural Disasters*. Retrieved from Satellite Images and GIS Maps in Natural Disaster Mitigation: <https://www.satimagingcorp.com/applications/environmental-impact-studies/natural-disasters/>
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias . (2015). *Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias* . Retrieved from La Secretaría de Gestión de Riesgos acreditará a los grupos de búsqueda y Rescate (USAR): <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/la-secretaria-de-gestion-de-riesgos-acreditara-a-los-grupos-de-busqueda-y-rescate-usar/>
- The Tcpdump Group. (2020, 05 16). *Tcpdump* . Retrieved from Tcpdump : <https://www.tcpdump.org/manpages/tcpdump.1.html>
- Tingting Yang, Z. J. (2018). Multi Agents to Search and Rescue Based on Group Intelligent Algorithm and Edge Computing. *2018 IEEE Confs on Internet of Things, Green Computing and Communications, Cyber, Physical and Social Computing, Smart Data, Blockchain, Computer and Information Technology, Congress on Cybermatics*, (p. 6). China.
- Tomic, T. S. (2012). Toward a Fully Autonomous UAV. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 11.

Torre, C. d. (2010). *Guia orientada a N capas*. España: Buschmann, 2013; Marston, 2012).

Wang, Z. (2018). Research on Agricultural Environment Information Collection System Based on LoRa. *IEEE*, 5.

wireshark. (n.d.). *wireshark*. Retrieved from Documentation:  
<https://www.wireshark.org/docs/>