



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE CAÍDAS DE
ADULTOS MAYORES CON RTLS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Electrónica y Automatización

AUTORA: Josselyn Mariel Ordóñez Ramírez

TUTOR: Víctor Vinicio Tapia Calvopiña

Quito-Ecuador

2023

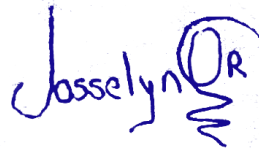
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Josselyn Mariel Ordóñez Ramírez, con documento de identificación N°
1750655720; manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro
la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de
manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 08 de agosto del año 2023

Atentamente,



Josselyn Mariel Ordóñez Ramírez

1750655720

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Josselyn Mariel Ordóñez Ramírez con documento de identificación No. 1750655720, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto técnico: “Desarrollo de un sistema de detección de caídas de adultos mayores con RTLS”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Electrónica y Automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de agosto del año 2023

Atentamente,



Josselyn Mariel Ordóñez Ramírez

1750655720

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Víctor Vinicio Tapia Calvopiña con documento de identificación N° 1708547219, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE CAÍDAS DE ADULTOS MAYORES CON RTLS**, realizado por Josselyn Mariel Ordóñez Ramírez con documento de identificación N° 1750655720, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de agosto del año 2023

Atentamente,



Ing. Víctor Vinicio Tapia Calvopiña MSc.

1708547219

AGRADECIMIENTOS

Esté gran logro y meta anhelada se lo debo a Dios, quien siempre me ha dado todo y su amor por mí me lo ha demostrado.

A mis padres, por su preocupación y trabajo por ayudarme a lograr muchas metas, por estar siempre alentándome a nunca rendirme. A Santi, a mis cuatro hermanos, mis cuatro sobrinos, quienes han estado en todo momento. Gracias por creer en mí y motivarme a dar lo mejor de mí en cada etapa de este proceso.

Así mismo a mi director de tesis, Ing. Vinicio Tapia por su guía constante, apoyo incondicional y valiosos consejos a lo largo de todo el proceso de investigación. Gracias a su experiencia y sabiduría, logré completar este trabajo de manera exitosa y con resultados satisfactorios.

¡Muchas gracias a todos!

ÍNDICE DEL CONTENIDO

| | |
|---------------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS | IX |
| RESUMEN | X |
| ABSTRACT | XI |
| INTRODUCCIÓN | XII |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1 Problema de estudio | 1 |
| 1.2 Justificación | 2 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.3.1 Objetivo General | 3 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 3 |
| 1.4 Metodología | 3 |
| CAPÍTULO 2 | 5 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 5 |
| 2.1 OMS | 5 |
| 2.2 RTLS | 6 |
| 2.3 Tecnologías de comunicación | 7 |
| 2.3.1 Aplicaciones | 9 |
| 2.4 Métodos de Localización | 9 |
| 2.4.1 Triangulación | 9 |
| 2.4.2 Análisis de escena | 15 |
| 2.4.3 Proximidad | 16 |
| 2.5 Sistemas Embebidos | 16 |
| 2.5.1 ESP32 | 16 |
| 2.5.2 ESP32 UWB Pro | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.5.3 BNO055..... | 19 |
| 2.5.4 Tecnología GSM | 21 |
| 2.6 Power Bank | 25 |
| 2.7 Software..... | 26 |
| 2.7.1 Arduino IDE | 26 |
| 2.7.2 Firebase..... | 26 |
| 2.7.3 Visual Studio Code..... | 27 |
| CAPÍTULO 3 | 29 |
| DESARROLLO DEL PROYECTO | 29 |
| 3.1 Diagrama de bloques general | 29 |
| 3.2 Dispositivos seleccionados | 30 |
| 3.3 Softwares seleccionados | 32 |
| 3.4 Diagramas de flujo..... | 34 |
| 3.5 Estructura del equipo | 44 |
| 3.6 Aplicación para ubicación y detección de caídas en la residencia Mi Dulce Hogar 44 | |
| 3.7 Envío de SMS..... | 45 |
| CAPÍTULO 4 | 46 |
| RESULTADOS | 46 |
| 4.1 Implementación del prototipo..... | 46 |
| 4.2 Pruebas realizadas en la residencia Mi Dulce Hogar | 48 |
| CAPÍTULO 5 | 53 |
| CONCLUSIONES | 53 |
| RECOMENDACIONES..... | 54 |
| ANEXOS | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura.2.1 Principio de funcionamiento RTLS | 6 |
| Figura.2.2 Ejemplo de triangulación de potencias de un sistema RTLS | 10 |
| Figura.2.3 Ejemplo de trilateración | 11 |
| Figura.2.4 Ejemplo de Intensidad de señal recibida..... | 12 |
| Figura.2.5 Ejemplo de método TDOA | 13 |
| Figura.2.6 Ejemplo de método AOA..... | 14 |
| Figura.2.7 Ejemplo de angulación..... | 15 |
| Figura.2.8 Especificaciones de NodeMCU ESP32 | 18 |
| Figura.2.9 Tarjeta ESP32 UWB Pro..... | 19 |
| Figura.2.10 Sensor 9-DOF, BNO055 | 20 |
| Figura.2.11 Módulo GSM - SIM900..... | 22 |
| Figura.2.12 Modulo SIM808..... | 23 |
| Figura.2.13 Imagen módulo GSM IOT-GA6 | 25 |
| Figura.3.1 Diagrama de bloques del Sistema de detección de caídas | 29 |
| Figura.3.2 Diagrama de flujo de rango de las Anclas DWM1000 | 34 |
| Figura. 3.3 Envío de datos de caída a Firebase tras detección. Diagrama de Flujo | 35 |
| Figura.3.4 Librerías del sensor BNO055..... | 36 |
| Figura.3.5 Constantes para detección de caídas | 36 |
| Figura. 3.6 Diagrama de Flujo del Programa de Localización con DW1000Ranging y Firebase..... | 37 |
| Figura.3.7 Diagrama de Flujo del Programa de envío de mensajes con el módulo GSM A6 | 39 |
| Figura.3.8 Diagrama de Flujo de ubicación y detección de caídas | 41 |
| Figura.3.9 Esquema general de la triangulación..... | 42 |
| Figura. 3.10 Anclas y Tag, triangulación | 42 |
| Figura.3.11 Cálculo de la posición. | 43 |
| Figura.3.12 Estructura de la caja para dispositivos | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura.3.13 Interfaz de aplicación desarrollada en Firebase | 44 |
| Figura.3.14 Mensaje de inicio de módulo GSM..... | 45 |
| Figura.4.1 Prototipo instalado con los dispositivos..... | 46 |
| Figura.4.2 Prototipo instalado con los dispositivos..... | 47 |
| Figura 4.3 Módulo GSM conectado | 47 |
| Figura.4.4 Plano de la residencia Mi Dulce Hogar..... | 48 |
| Figura.4.6 Alerta de caída en la aplicación web..... | 49 |
| Figura.4.7 Notificación de mensaje de caída confirmada | 50 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2. 1 Comparación de tecnologías inalámbricas | 8 |
| Tabla 2.2 Comparación ESP32 Básico y UWB Pro | 19 |
| Tabla 2. 3 Datos del BNO055 | 20 |
| Tabla 3.1 Características principales del módulo DWM1000..... | 31 |
| Tabla 3.2 Características de softwares | 33 |
| Tabla 4.1 Resultados de pruebas de ubicación | 50 |
| Tabla 4.2 Resultados de pruebas de estado | 51 |

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo desarrollar un sistema de detección de caídas de adultos mayores con tecnología de localización en tiempo real (RTLS) para generar una alerta inmediata mediante mensajes de texto.

El problema que se aborda es la falta de un sistema de aviso o alarma en la residencia de adultos mayores Mi Dulce Hogar, que permita informar al cuidador cuando ocurre una caída, lo cual puede resultar en complicaciones graves para la salud de los ancianos.

Para solucionar este problema, se propone implementar un sistema de RTLS que permita detectar las caídas y enviar un mensaje de alerta a un dispositivo móvil del cuidador. Este sistema utiliza tags para la comunicación con sistemas embebidos (anclas) que procesan la información y permiten la triangulación para determinar la ubicación del adulto mayor. Además, se utiliza un acelerómetro en un arnés para detectar las caídas y se envía una alerta a través de servicios de datos GSM, además el sistema cuenta con un sitio web que permite monitorear en tiempo real la ubicación y estado del adulto mayor.

El desarrollo de este sistema tiene como objetivo mejorar la seguridad y el bienestar de los ancianos en el centro de cuidado Mi Dulce Hogar, al proporcionar a los cuidadores una forma inmediata de ser informados sobre la ubicación de los adultos mayores en caso de una caída.

La metodología utilizada incluye un análisis de las condiciones y necesidades del adulto mayor, la instalación de tags y sistemas embebidos para la comunicación y triangulación, la implementación de un sistema de envío de mensajes de alerta y la realización de pruebas de campo en Mi Dulce Hogar Para confirmar el funcionamiento del sistema.

Se llevaron a cabo pruebas de campo en Mi Dulce Hogar para validar el funcionamiento del sistema y asegurar su efectividad en la detección de caídas y generación de alertas.

Se espera que este sistema de detección de caídas con tecnología RTLS sea una herramienta útil para mejorar la seguridad de los adultos mayores y evitar complicaciones graves de salud. Su implementación en el centro de cuidado Mi Dulce Hogar podría servir como referencia para otros centros similares que enfrenten las mismas limitaciones de recursos y personal.

ABSTRACT

The objective of this degree project is to develop a fall detection system for older adults with real-time location technology (RTLS) to generate an immediate alert through text messages.

The problem being addressed is the lack of an alert or alarm system in the Mi Dulce Hogar residence for the elderly, which allows the caregiver to be informed when a fall occurs, which can lead to serious complications for the health of the elderly.

To solve this problem, it is proposed to implement an RTLS system that allows detecting falls and sending an alert message to a mobile device of the caregiver. This system uses tags for communication with embedded systems (anchors) that process the information and allow triangulation to determine the location of the elderly. In addition, an accelerometer in a harness is used to detect falls and an alert is sent through GSM data services. In addition, the system has a website that allows real-time monitoring of the location and status of the elderly.

The development of this system aims to improve the safety and well-being of the elderly in the Mi Dulce Hogar care center, by providing caregivers with an immediate way to be informed about the location of the elderly in the event of a fall.

The methodology used includes an analysis of the conditions and needs of the elderly, the installation of tags and embedded systems for communication and triangulation, the implementation of a system for sending alert messages and field tests in Mi Dulce Hogar. to confirm system operation.

Field tests were carried out at Mi Dulce Hogar to validate the operation of the system and ensure its effectiveness in detecting falls and generating alerts.

This fall detection system with RTLS technology is expected to be a useful tool to improve the safety of the elderly and avoid serious health complications. Its implementation in the Mi Dulce Hogar care center could serve as a reference for other similar centers that face the same resource and staff limitations.

INTRODUCCIÓN

La atención a los adultos mayores es una preocupación creciente en todo el mundo, y uno de los principales desafíos es mantener su seguridad y bienestar. En este contexto, el presente proyecto de titulación de Ingeniería Electrónica y Automatización propone la implementación de un sistema de localización en tiempo real (RTL) en Mi Dulce Hogar para detectar caídas de los adultos mayores y enviar una alerta inmediata a los cuidadores.

A diferencia de otros proyectos que se han enfocado en esta área, esta propuesta se basa en la tecnología inalámbrica y utiliza un sistema de triangulación para determinar la ubicación exacta del adulto mayor dentro de la residencia. También se hace uso de un acelerómetro para detectar las caídas y se enviará un mensaje de texto a los cuidadores a través de los servicios de datos GSM.

Además de la implementación del sistema de localización en tiempo real (RTL), se desarrolló un sitio web al que se puede acceder desde cualquier dispositivo y lugar, lo que permite a los cuidadores revisar el estado del adulto mayor en Mi Dulce Hogar. Este sitio web muestra información en tiempo real sobre el residente, incluyendo su ubicación dentro de la casa hogar. En caso de que el adulto mayor haya sufrido una caída, el sistema encenderá dos indicadores rojos, confirmando la caída y alertando a los cuidadores de la situación.

La inclusión de este sitio web proporciona una plataforma conveniente y accesible para que los cuidadores puedan supervisar y controlar la situación de los adultos mayores en tiempo real, brindando una mayor tranquilidad y una respuesta inmediata en caso de emergencia.

La implementación de este sistema de localización en tiempo real (RTL) tiene como objetivo mejorar la seguridad y el bienestar de los adultos mayores en Mi Dulce Hogar. Al permitir a los cuidadores conocer la ubicación inmediata de los ancianos en caso de una caída, se podrá brindar una respuesta rápida y eficiente, evitando complicaciones y reduciendo el riesgo de lesiones graves, como fracturas de cadera o hematomas cerebrales.

El uso de tecnologías de información avanzadas, como el sistema RTLS, es fundamental en el campo de la salud, especialmente en el cuidado de los adultos mayores. Este proyecto busca aprovechar el potencial de estas tecnologías para mejorar la atención y el cuidado de los ancianos en Mi Dulce Hogar. A través de la integración de dispositivos de identificación, lectores, sensores y una plataforma de software

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Problema de estudio

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la segunda causa de muerte a nivel mundial por traumatismos involuntarios son producto de las caídas, así mismo detalla que los adultos mayores a 60 años son los que sufren este tipo de accidentes que son mortales. (OMS, 2021)

Los centros de cuidado de los adultos mayores se presentan como una alternativa para la atención especial que requieren las personas adultas, cuyo objetivo es el bienestar de la persona tanto físico como mental, cuentan con profesionales que cumplen con su labor de cuidado, pero a pesar de esto enfrentan diversas limitaciones, como escasez de recursos y principalmente suficiente personal para atender emergencias que puedan presentarse en los ancianos. (Gholamhosseini L, 2019)

Mi Dulce Hogar Residencia del adulto mayor, siendo uno de los lugares de atención para los ancianos, en la ciudad de Quito, está constituido de cinco adultos mayores que caminan , sus rangos de edad están entre los 87- 92 años, también hay más adultos mayores que se movilizan mediante sillas de ruedas y afrontan enfermedades en su día a día ,como son: Alzheimer, Problemas visuales, Artritis, Diabetes, características propias de su edad que provocan la reducción de la movilidad, la fuerza y la coordinación .

Siendo estas las principales causas de accidentes, caídas en las personas de la tercera edad, la directora y propietaria del centro de Mi Dulce Hogar, Licenciada Martha Beatriz Villamarin Molina, manifiesta los problemas que pueden ocasionarse, siendo los más peligrosos como causa de la muerte, las fracturas de cadera y los hematomas cerebrales. Las posibilidades de que ocurra esta situación se manifiestan directamente el no tener el suficiente personal de atención para los ancianos, ya que todos requieren un cuidado personal y ciertos descuidos producen las caídas en ellos. Un ejemplo de peligro en los ancianos, son las caídas en el baño y por falta de comunicación inmediata, podrían durar horas, hasta un día, en el lugar sin ser asistido pronto, ocasionando complicaciones en su salud.

En el centro de cuidado no existe ningún sistema de aviso o alarma que permita informar

al cuidador que ha ocurrido una caída en ellos, para que puedan asistir de forma inmediata al adulto. Varios estudios y aplicaciones han realizado trabajos enfocados a esta área, con el fin de dar una solución para evitar o informar los accidentes en los adultos mayores, como el uso de comandos de voz para la orientación en personas no videntes (Chávez Shica, 2019), el uso de aplicaciones móviles para el monitoreo y ubicación en el adulto mayor (Tristán., 2019). Además, se introdujo un sistema de alerta electrónico diseñado especialmente para detectar y notificar las caídas de los adultos mayores en el centro de cuidado del adulto mayor San Martín.(Izama, 2018)

Pero a diferencia de los proyectos antes mencionados, este trabajo propone un sistema de localización en tiempo real (RTLS) del adulto mayor para detectar las caídas y enviar un mensaje de alerta a un dispositivo móvil que posea la persona encargada del cuidado, a través de tecnología inalámbrica.

1.2 Justificación

La implementación de un sistema de localización en tiempo real (RTLS) en el centro de cuidado de Mi Dulce Hogar para adultos mayores, es una herramienta útil para mejorar la seguridad y el bienestar de los ancianos. Permitiendo a los cuidadores ser informados sobre la ubicación inmediata de los ancianos en caso de que sufran una caída. Evitando la pérdida de tiempo en buscar al adulto mayor y logrando una respuesta de forma inmediata a la situación.

El RTLS es una solución conveniente para los espacios cerrados como Mi Dulce Hogar, ya que se puede usar para rastrear ubicaciones dentro de los límites del lugar. Este sistema, es una solución con un gran potencial, debido a que permite la integración de todos los elementos necesarios para el monitoreo de los adultos mayores, incluyen dispositivos de identificación, lectores y sensores para detectar la posición de aquellos y una plataforma de software para el almacenamiento y análisis de datos. Esto significa que el sistema RTLS puede integrar todos los elementos para monitorear la ubicación de los adultos mayores y enviar un mensaje de alerta a un dispositivo móvil en caso de una caída.

Actualmente, el progreso de las nuevas técnicas de localización en tiempo real (RTLS) tiene un impacto significativo considerablemente en el campo de la salud, ya que en una perspectiva futura es necesario el uso de tecnologías de información avanzadas para realizar el seguimiento en tiempo real de la posición física en las entidades; por lo tanto,

se considera de suma importancia desarrollar e implementar un Sistema de Localización en Tiempo Real adecuado para los centros de atención a personas mayores. (Thiede, 2021). RTLS se basa en (tags), que normalmente usa radiofrecuencia para determinar la posición relativa de un objeto con respecto a los llamados “nodos”, constan de dos partes principales, uno es el hardware que recopila y comunica los datos a un sistema central el cual interpreta los datos y prepara las acciones correspondientes. (Zafari, 2019)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de detección de caídas de adultos mayores con RTLS para la generación de una alerta inmediata mediante mensajes de texto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar las estrategias de detección de caídas y RTLS para la selección y ubicación de los componentes necesarios.
- Desarrollar un sistema de triangulación para la ubicación del adulto mayor dentro de la residencia.
- Implementar un sistema de envío de mensajes de alerta a través de los servicios de datos GSM, para informar la caída de un adulto mayor.
- Realizar pruebas de campo en Mi Dulce Hogar Residencia del adulto mayor para la validación del funcionamiento del sistema.

1.4 Metodología

Mediante un análisis de las condiciones y necesidades del adulto mayor se determinó los lugares de riesgo para el mismo dentro de la residencia, dónde se instalaron tags, necesarios para la comunicación, que enviarán los datos a sistemas embebidos (anclas), que serán procesados por el sistema de triangulación (RTLS), permitiendo obtener la ubicación del adulto mayor.

Por medio de un acelerómetro BNO055 ubicado en un arnés, en una estructura organizada con los demás dispositivos, se detectará la caída, esta información permitirá enviar una

alerta a los cuidadores, mediante un mensaje de texto (GSM). Al igual que una aplicación web, con la plataforma Firebase, dónde se podrá visualizar en tiempo real la condición y ubicación del adulto mayor en la casa hogar.

Una vez que se haya implementado el software y hardware, se realizó las pruebas de campo en Mi Dulce Hogar residencia del adulto mayor, con simulacros de caídas en la institución que se encuentra en la ciudad de Quito, con el propósito de verificar el buen funcionamiento.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que las caídas representan un problema significativo en términos de salud pública, especialmente para las personas mayores. Los individuos de edad avanzada tienen un mayor riesgo de sufrir lesiones graves e incluso fatales a causa de las caídas. Cada año, se registran millones de casos de caídas que requieren atención médica, y los adultos mayores de 60 años son particularmente vulnerables. Es crucial implementar medidas de prevención para reducir el riesgo de caídas y minimizar las posibles consecuencias negativas, ya que entre el 20% y el 30% de las personas de edad avanzada que experimentan caídas sufren lesiones moderadas o graves, como fracturas de cadera y traumatismos craneoencefálicos. El riesgo de caídas aumenta con la edad y puede ser influenciado por diferentes trastornos físicos, cognitivos y sensoriales relacionados con el envejecimiento. Por tanto, es esencial desarrollar estrategias de prevención específicas para los adultos mayores, con el fin de disminuir la carga de enfermedad y mortalidad asociada a las caídas. (OMS, 2021)

Según el artículo "La prevención de caídas recurrentes en el paciente anciano" de (Miriam Bella Beorlegui, 2017), hay varias razones por las cuales las personas mayores tienen una mayor probabilidad de sufrir caídas, como las siguientes:

1. Problemas de equilibrio: A medida que se envejece, se puede experimentar cambios en el equilibrio debido a la disminución de la fuerza muscular y la agilidad.
2. Problemas con la visión: La disminución de visión también aumenta el riesgo de caídas en ancianos.
3. Problemas de traslado: Los ancianos pueden experimentar dificultades para caminar debido a cambios en la coordinación y la fuerza muscular.
4. Problemas de medicamentos: Algunos medicamentos pueden causar somnolencia o mareo, lo que aumenta el riesgo de caídas.

2.2 RTLS

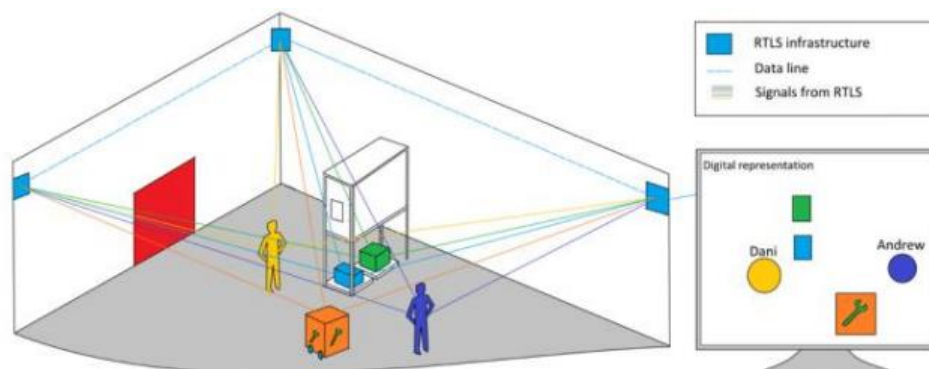
Las siglas de RTLS significa, Sistema de localización en tiempo real, es una tecnología que permite el seguimiento y monitoreo de la ubicación de personas u objetos en un espacio determinado, utilizando la intensidad de la señal de wifi, obteniendo información precisa y actual.

Para conocer la ubicación, se realiza por medio de la triangulación, compuesto de varios puntos de accesos cercanos (APs), con una ubicación conocida y una señal Wi-Fi emitida.

El sistema de Localización en Tiempo Real ofrece varias ventajas en diversas aplicaciones, entre las más destacadas son:

- Precisión: proporciona una ubicación precisa en tiempo real, logrando una información exacta.
 - Flexibilidad: se adapta a diferentes entornos y necesidades, funcionando en interiores y exteriores, se puede utilizar en varios dispositivos, desde celulares móviles, tablets y hasta sensores específicos.
 - Mejora la eficiencia: se optimiza los procesos con una eficiencia operativa.
 - Seguridad: ayudar a garantizar control y seguridad en el acceso a zonas restringidas.
- (Sebastián Thiedea, 2021)

Figura.2.1 Principio de funcionamiento RTLS



Explicación gráfica de RTLS Fuente: (Sebastian Thiede, 2021)

2.3 Tecnologías de comunicación

El sistema varía en medios de comunicación y son (SILVA, 2018) :

1. GPS (Global Positioning System): se utiliza para rastrear objetos o personas en exteriores con precisión de ubicación de alrededor de 5 metros.
2. Wi-Fi: tecnología para monitorear en interiores, detectando las señales Wi-Fi emitidas por dispositivos conectados a esta red.
3. RFID (Radio Frequency Identification): es una tecnología por radiofrecuencia que permite la identificación y seguimiento de objetos o personas en tiempo real, se basa en el uso de etiquetas o tags que contienen información almacenada y que pueden ser leídas por dispositivos especiales llamados lectores RFID.
4. UWB (Ultra-Wideband): es útil para rastrear objetos o personas en interiores, midiendo el tiempo que tarda una señal de radio en viajar entre un transmisor y un receptor.
5. Bluetooth Low Energy (BLE): utilizada para rastrear objetos o personas en interiores, detectando las señales Bluetooth emitidas por dispositivos como smartphones.
6. Zigbee: tecnología de baja potencia que utiliza redes de malla para transmitir datos y ubicación en tiempo real, requieren una alta densidad de nodos y una baja tasa de transferencia de datos.

Para los sistemas de localización en exteriores son:

- GPS
- RFID
- ZIGBEE

Y para interiores son:

- Infrarrojos
- Ultrasónicos
- UWB
- RFID
- Wi-Fi
- Bluetooth

A continuación, se presenta la tabla 2.1, en base al trabajo de (Salim Jibrin Danbatta, 2019)

Tabla 2. 1 Comparación de tecnologías inalámbricas

| Tecnología de comunicación | Ventajas | Desventajas |
|----------------------------|--|--|
| RFID | <ul style="list-style-type: none"> – Bajo costo – Fácil de implementar. – Alta precisión en la ubicación. – Puede trabajar en ambientes hostiles. | <ul style="list-style-type: none"> – Restricciones en la capacidad de lectura a larga distancia – Interferencia con otros dispositivos inalámbricos. |
| GPS | <ul style="list-style-type: none"> – Alta precisión en la ubicación. – Amplio alcance – Funcionamiento en exteriores | <ul style="list-style-type: none"> – No funciona bien en los interiores. – Necesita una línea de vista directa con los satélites |
| Bluetooth | <ul style="list-style-type: none"> – Amplia disponibilidad en dispositivos móviles – Bajo consumo de energía – Fácil de implementar – Alta precisión en la ubicación | <ul style="list-style-type: none"> – Limitaciones en la distancia de lectura – Interferencia con otros dispositivos inalámbricos |
| Wi-Fi | <ul style="list-style-type: none"> – Amplia disponibilidad – Alta velocidad de transferencia de información. | <ul style="list-style-type: none"> – Restricciones en la exactitud de la localización – Limitaciones en el alcance |
| UWB | <ul style="list-style-type: none"> – Alta precisión en la ubicación – Rápida velocidad de transferencia de información – Bajo consumo energético. | <ul style="list-style-type: none"> – Importancia de una red con su debida infraestructura. |
| Zigbee | <ul style="list-style-type: none"> – Bajo consumo de energía – Habilidad para manejar una cantidad significativa de nodos | <ul style="list-style-type: none"> – Necesidad de infraestructura Zigbee para el funcionamiento del sistema, posible interferencia con otros dispositivos que utilizan la misma frecuencia. |

Tecnologías inalámbricas a la vanguardia. Fuente (Danbatta, 2019)

2.3.1 Aplicaciones

Los sistemas de localización en tiempo real tienen una variedad de aplicaciones en diversos ámbitos y sectores. Según (Kevin M. Overmann, 2021). Las áreas en las que se implementan estos sistemas se encuentran:

1. Salud, en la que se utilizan en hospitales y clínicas para seguir el movimiento de pacientes, personal y equipos médicos, mejorando la calidad y eficiencia del cuidado al paciente.
2. Fabricación, se utilizan para monitorear el movimiento de materiales y productos, aumentando la eficiencia y productividad en la producción.
3. Seguridad, en la que los sistemas RTLS se utilizan en lugares públicos como aeropuertos, estadios y centros comerciales para monitorear y rastrear el movimiento de personas y prevenir situaciones de riesgo.
4. Agricultura, donde se utilizan para rastrear y monitorear el movimiento de maquinaria y equipos, mejorando la eficiencia y gestión de la cosecha.
5. Minería, se utilizan para monitorear el movimiento de equipos y personal, mejorando la eficiencia y seguridad en la operación minera.

2.4 Métodos de Localización

Existen diversas técnicas empleadas para determinar la posición o ubicación de un objeto, persona o dispositivo en un espacio específico. Estos métodos pueden variar en función de la tecnología utilizada y las particularidades del entorno en el que se realiza la localización. Y se clasifican en: Triangulación, Análisis de escena, Proximidad. (Francisco Crizul, Localización en interiores utilizando infraestructura de Internet de las Cosas, 2021)

2.4.1 Triangulación

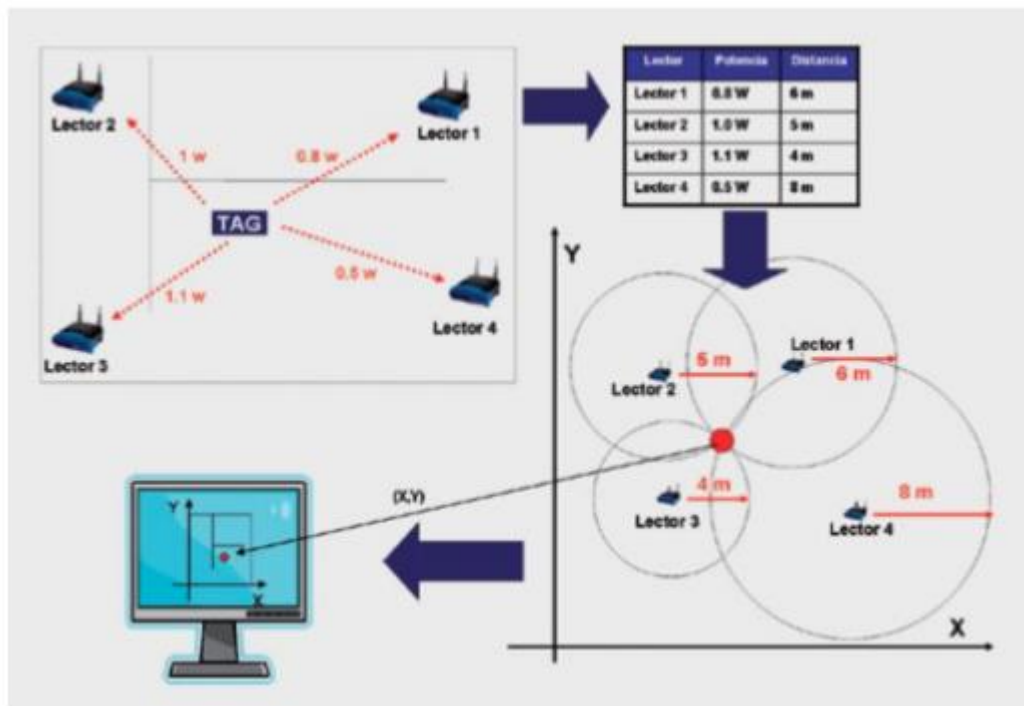
Es un método matemático que se emplea para calcular con precisión la posición exacta de un punto determinado dentro de un espacio tridimensional.

Fundamentalmente, la triangulación engloba el acto de determinar distancias y/o establecer conexiones entre varios puntos para estimar la posición anticipada de una

entidad. Para lograr este objetivo, se utilizan al menos tres puntos de referencia con coordenadas preestablecidas para calcular la distancia o el tiempo que tarda una señal emitida por la entidad en llegar.

En la Figura.2.3.1.1 se presenta la triangulación realizada para potencias

Figura.2.2 Ejemplo de triangulación de potencias de un sistema RTLS



Método de localización -Triangulación Fuente: (Abril, 2022)

Este método se emplea en una multitud de disciplinas, incluidas, la navegación, la geodesia, la topografía, la ingeniería y la astronomía.

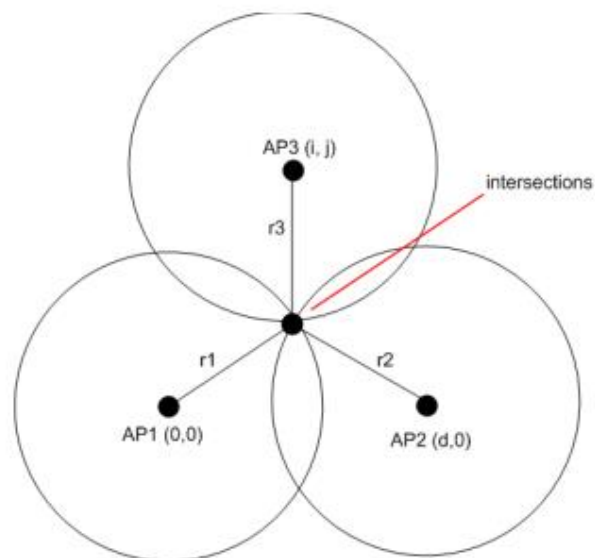
Hay dos métodos principales que se utilizan para realizar la triangulación: trilateración y angulación.

Trilateración

También llamado multilateración o N-Lateración, (medida de distancias), se emplea para determinar las coordenadas de un dispositivo cliente. Esto se logra midiendo sus distancias y al menos tres nodos de anclaje. Cada distancia medida crea una esfera dentro del espacio tridimensional. En una situación óptima, las esferas se cruzarían en un solo

punto preciso que indicaría con precisión la ubicación del dispositivo del cliente. Sin embargo, debido a la imprecisión de las distancias medidas, la intersección puede producir una región o múltiples puntos potenciales, e incluso existe la posibilidad de que no ocurra ninguna intersección.

Figura.2.3 Ejemplo de trilateración



Método de triangulación de trilateración Fuente: (Cruz, 2023)

Para determinar la posición del dispositivo cliente, se deben utilizar algoritmos, considerando las distancias medidas y los errores correspondientes para calcular una ubicación aproximada dentro del área de intersección. Según la precisión y la presencia de datos complementarios, se pueden implementar varios algoritmos para mejorar la precisión de la estimación.

Uno de ellos es:

Estimación por Mínimos Cuadrados.

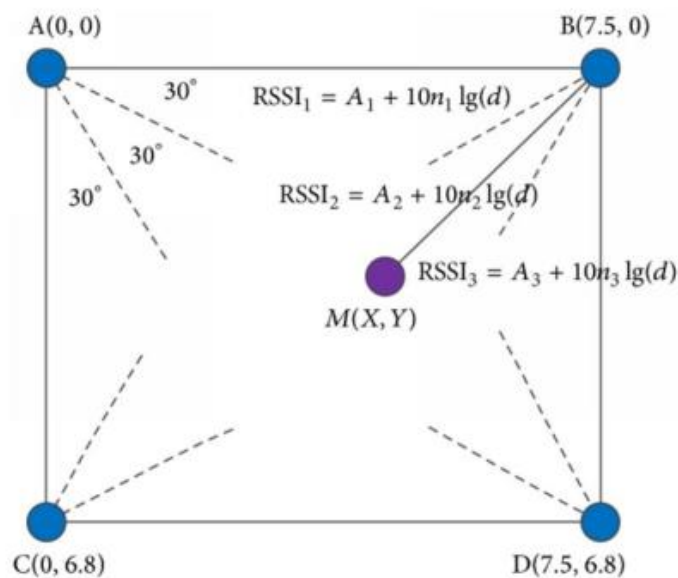
Se emplea en lateración para aproximar la posición precisa del dispositivo del cliente dentro de la región donde se cruzan las esferas. Este enfoque tiene como objetivo minimizar la suma total de los cuadrados de las diferencias entre las distancias medidas y las distancias calculadas en cada punto dado, logrando este proceso iterativo de ajuste de las coordenadas del dispositivo del cliente hasta que se identifica la ubicación más adecuada, que se alinea con los datos.

Los métodos que se utilizan para determinar la ubicación en función de las distancias calculadas son: (Polo, 2018)

– RSS

La técnica basada en RSS (Received Signal Strength) o RSSI se utilizan para estimar la ubicación de un dispositivo cliente utilizando la intensidad de la señal recibida de los nodos de anclaje, se basa en la premisa de que la intensidad de la señal disminuye a medida que el dispositivo se aleja de los nodos de anclaje, lo que permite inferir la distancia entre el dispositivo y los nodos.

Figura.2.4 Ejemplo de Intensidad de señal recibida



Método de RSSI Fuente: (Garcilazo Zuloeta, 2021)

– TAO

TAO (Time Of Arrival) esta técnica se basa en el principio de que la señal se propaga a una velocidad constante y, por lo tanto, se puede utilizar el tiempo que tarda la señal en llegar desde los nodos de anclaje hasta el dispositivo para estimar la distancia entre ellos. Los nodos de anclaje emiten señales con marcas de tiempo precisas. El dispositivo cliente recibe estas señales y mide el tiempo de llegada de cada una de ellas. Utilizando la velocidad de propagación de la señal, que generalmente se asume como la velocidad de la luz en el vacío, se calcula la distancia entre el dispositivo y cada nodo de anclaje.

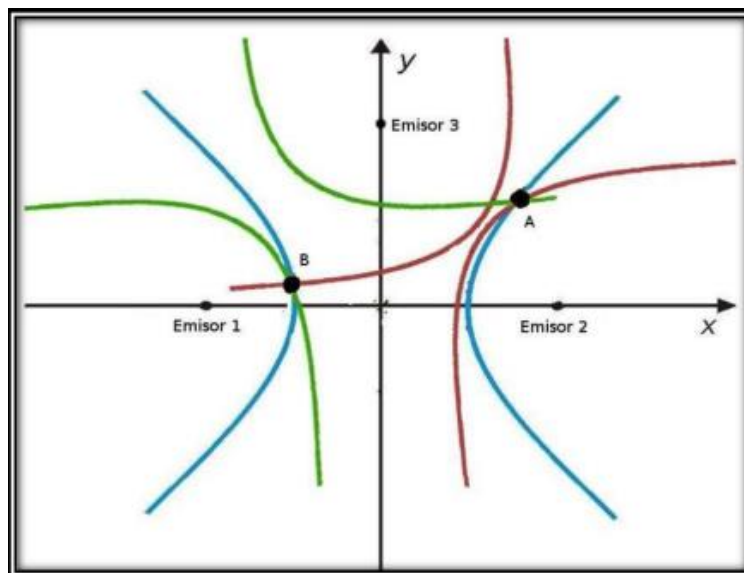
La técnica de TAO se utiliza comúnmente en aplicaciones de localización en tiempo real (RTLS), como sistemas de seguimiento de activos en interiores o sistemas de navegación en interiores. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta técnica puede verse afectada por la presencia de obstáculos y condiciones de propagación de la señal.

– TDOA (Time Difference of Arrival)

Se basa en la diferencia de tiempo de llegada entre las señales recibidas por múltiples nodos de anclaje. emiten señales simultáneamente y el dispositivo cliente recibe estas señales con un retardo diferente debido a la diferencia de distancia entre los nodos de anclaje y el dispositivo. Al medir la diferencia de tiempo de llegada entre las señales recibidas por los diferentes nodos de anclaje, se puede estimar la diferencia de distancia entre el dispositivo y cada uno de los nodos.

Una vez que se conocen las diferencias de distancia entre el dispositivo y al menos tres nodos de anclaje, se utiliza la trilateración o multilateración para estimar la ubicación del dispositivo dentro del espacio tridimensional. La intersección de las esferas formadas por las diferencias de distancia estimadas proporciona una estimación de la ubicación del dispositivo.

Figura.2.5 Ejemplo de método TDOA



Técnica TDOA Fuente: (Chariguamán, 2018)

– RTOF

RTOF (Round Trip Time Of Flight), también conocido como RTT (Round Trip Time), utiliza el tiempo que tarda la señal en viajar desde los nodos de anclaje hasta el dispositivo y luego de regreso a los nodos.

Los nodos de anclaje emiten señales y el dispositivo cliente recibe estas señales, el cual mide el tiempo que tarda la señal en viajar desde cada nodo de anclaje hasta él y luego envía una señal de respuesta de vuelta a los nodos. Los nodos de anclaje miden el tiempo que tarda la señal de respuesta en llegar desde el dispositivo hasta ellos.

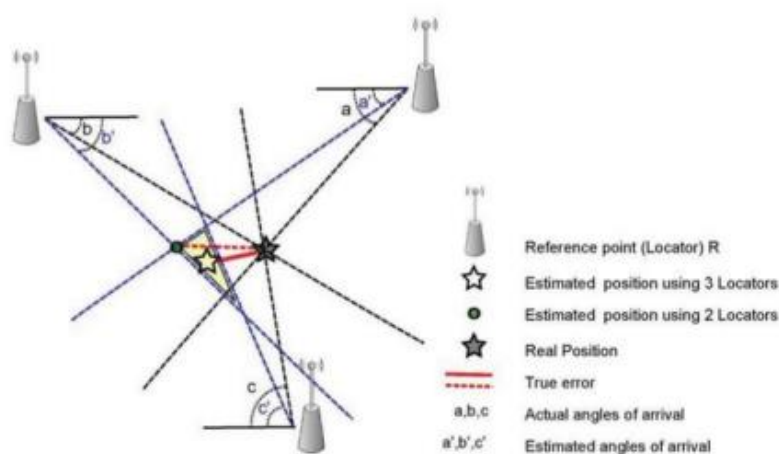
– AOA

La técnica de Angle Of Arrival (AOA) se utiliza para estimar la posición de un objeto basándose en los ángulos de llegada de las señales recibidas desde múltiples fuentes. En lugar de utilizar el tiempo de llegada o la intensidad de la señal, AOA se enfoca en medir los ángulos relativos entre el objeto y las fuentes de señal.

Para implementar AOA, se utilizan arrays de antenas o sistemas de antenas direccionales en los nodos de anclaje. Estas antenas permiten medir los ángulos de llegada de las señales recibidas desde el objeto. Al combinar la información de los ángulos de llegada de múltiples nodos de anclaje, se puede estimar la posición del objeto utilizando técnicas de triangulación.

En la siguiente figura, se presenta una representación del funcionamiento de este método.

Figura.2.6 Ejemplo de método AOA

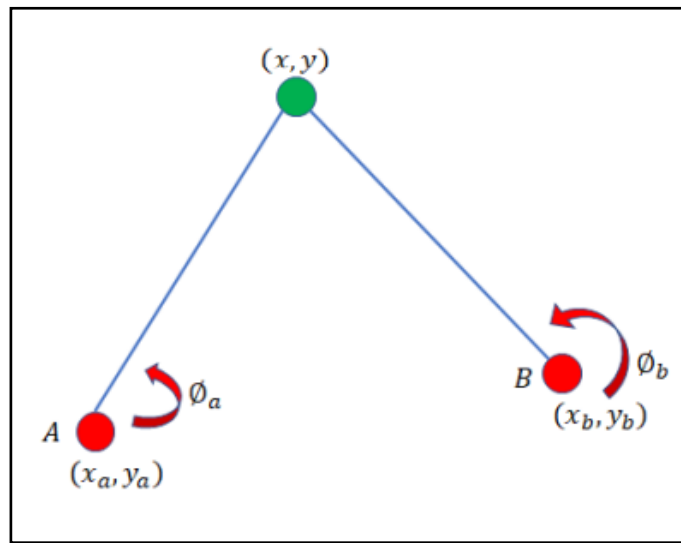


Funcionamiento de AOA Fuente: (Navas Damas, 2023)

Angulación

Se refiere al cálculo de los ángulos en los que llegan las señales al nodo ancla. Estos se utilizan para determinar la ubicación del dispositivo cliente mediante la intersección de las líneas trazadas desde cada nodo de referencia. Se requieren al menos dos nodos ancla para la localización en 2D y tres nodos ancla para la localización en 3D utilizando esta técnica.

Figura.2.7 Ejemplo de angulación



Segundo método de localización -Triangulación Fuente: (Abril, 2022)

Para determinar la posición, el método habitual es utilizar las coordenadas geométricas, específicamente los ángulos respectivos ϕ_a y ϕ_b . Logrando formular las ecuaciones que representan las pendientes que se crean entre los anclajes y el nodo previsto estimar.

Obteniendo las siguientes ecuaciones (1) y (2) para la posición a evaluar:

$$x = \frac{(y_a - y_b) + x_b \tan(\phi_b) - x_a \tan(\phi_a)}{\tan(\phi_b) - \tan(\phi_a)} \quad \text{Ec.1}$$

$$x = \frac{(y_a \tan(\phi_b) - y_b \tan(\phi_a)) + (x_b - x_a) \tan(\phi_b) \tan(\phi_a)}{\tan(\phi_b) - \tan(\phi_a)} \quad \text{Ec.2}$$

2.4.2 Análisis de escena

También llamado (Fingerprinting), es una técnica utilizada en la localización y seguimiento de dispositivos móviles. Consiste en crear una base de datos que contiene información específica de diferentes ubicaciones o escenas, como la intensidad de la señal recibida de los puntos de acceso Wi-Fi, las características del entorno físico, entre otros. Para crear esta base de datos, se realizan mediciones en diferentes ubicaciones de interés,

registrando los valores de RSSI y otras características relevantes. Estos datos se almacenan en una base de datos junto con las coordenadas geográficas de cada ubicación.

Luego, cuando un dispositivo móvil necesita ser localizado, realiza mediciones de RSSI y otras características en tiempo real.

2.4.3 Proximidad

El método de localización por proximidad es útil en entornos donde se requiere una precisión moderada y se desea detectar la presencia o cercanía de objetos o dispositivos en relación con puntos de referencia específicos. Se utiliza en aplicaciones como el seguimiento de activos, la gestión de inventario, el control de acceso y la interacción con dispositivos cercanos, entre otros.

2.5 Sistemas Embebidos

También conocidos como sistemas empotrados, son sistemas informáticos especializados diseñados para realizar tareas específicas en dispositivos y equipos electrónicos. Están diseñados para ser eficientes y confiables, y pueden funcionar en tiempo real, lo que significa que pueden responder y procesar datos en tiempo real para realizar acciones rápidas y precisas.

Se componen de hardware y software. El hardware está diseñado específicamente para el dispositivo en el que se encuentra y puede incluir procesadores, memoria, interfaces de comunicación, sensores y actuadores. El software, por otro lado, es el programa o conjunto de programas que se ejecutan en el sistema embebido y controlan su funcionamiento.

Estos sistemas se encuentran en una amplia variedad de dispositivos y equipos, como electrodomésticos, automóviles, dispositivos médicos, sistemas de control industrial, teléfonos móviles, juguetes y muchos otros. (Dam, 2022)

2.5.1 ESP32

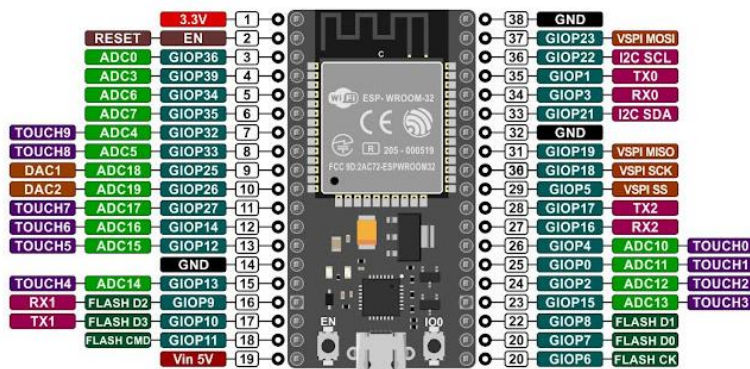
Es un módulo inalámbrico basado en el sistema en chip (SoC) ESP32 desarrollado por Espressif Systems. Es una de las variantes más populares del ESP32 y ha sido ampliamente utilizada en proyectos de Internet de las cosas (IoT) y prototipos debido a

su conectividad Wi-Fi y Bluetooth, así como a su capacidad para realizar tareas más avanzadas en comparación con su predecesor, el ESP8266.

Especificaciones:

1. Microcontrolador: SoC (System on Chip) ESP32 de doble núcleo Xtensa LX6 de 32 bits con velocidad de reloj de hasta 240 MHz.
2. Memoria:
 - Memoria Flash: Puede variar, pero es común encontrar versiones con 4 MB o 8 MB de memoria flash interna para almacenamiento de programas y datos.
 - Memoria RAM: Por lo general, 520 kB o más de memoria RAM para la ejecución de programas y almacenamiento de datos temporales.
3. Conectividad inalámbrica:
 - Conexión inalámbrica: Compatible con redes Wi-Fi 802.11 b/g/n con una velocidad máxima de 150 Mbps.
4. Conexión Bluetooth: Compatible con Bluetooth clásico y Bluetooth de baja energía (BLE) en versiones 4.2/5.0.
5. GPIO: Suelen tener entre 25 y 38 pines GPIO disponibles para la conexión de sensores, actuadores y otros dispositivos externos.
6. Interfaces de comunicación:
 - UART: Varias interfaces UART para la comunicación con otros dispositivos y periféricos.
 - I2C: Soporte para comunicación en modo I2C con otros dispositivos.
 - SPI: Interfaz Serial Peripheral Interface para la comunicación de alta velocidad con dispositivos externos.
 - ADC/DAC: Convertidores analógico-digital y digital-analógico para la lectura de sensores analógicos y salida de señales analógicas, son 12
 - PWM: Generación de señales PWM para el control de motores y otras aplicaciones.
7. Alimentación: Admite una amplia gama de voltajes de alimentación y puede operar con baterías o fuentes de energía de bajo consumo de 3.3V-5V.
8. Sistema Operativo: Puede ejecutar aplicaciones y proyectos en el ESP32 utilizando el SDK oficial ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) o utilizando entornos de desarrollo como el Arduino IDE. (Asanza, s.f.)

Figura.2.8 Especificaciones de NodeMCU ESP32



Módulo ESP32 con sus pines Fuente: (A., 2020)

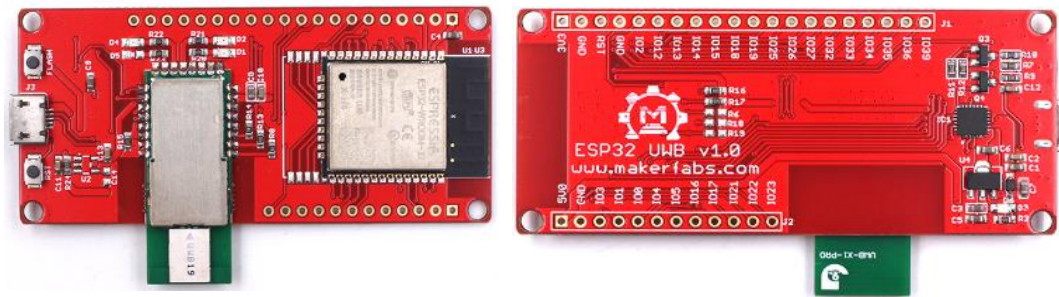
2.5.2 ESP32 UWB Pro

Es un sistema embebido, ya que se trata de un chip integrado en dispositivos y equipos electrónicos para realizar una función específica, en este caso, la comunicación inalámbrica de ultra banda ancha y la localización en tiempo real. Al ser un componente electrónico autónomo y especializado, el DW1000 se considera un sistema embebido dentro del dispositivo en el que se integra. (Makerfabs, 2022)

Características:

- El Decawave DWM1000 es un dispositivo de rastreo de alta precisión que se usa ampliamente en varias industrias. Su precisión excepcional lo hace invaluable para aplicaciones que requieren un seguimiento de ubicación preciso.
- El ESP32 es reconocido por su capacidad para ofrecer un rendimiento rápido y sólido en una variedad de aplicaciones.
- Capaz de conectarse de forma inalámbrica a través de Wi-Fi y Bluetooth.
- Tiene conector micro USB de tamaño pequeño, está diseñado para conectar y transferir datos entre dispositivos, con gran velocidad de transferencia.
- El rango aceptable para el suministro de voltaje de la alimentación USB de la placa es de 4,8 a 5,5 voltios, siendo 5,0 voltios el voltaje de funcionamiento estándar.

Figura.2.9 Tarjeta ESP32 UWB Pro



ESP32 UWB Pro. Fuente: (Makerfabs, Makerfabs, s.f.)

Tabla 2.2 Comparación ESP32 Básico y UWB Pro

| | UWB Básico | UWB Pro |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| UPC | ESP32-WROOM/WROVER | ESP32-WROVER |
| Núcleo UWB | DW1000 | DW1000 |
| Distancia de medición(m) | 45 | 200 |
| Canal UWB | 2/5 | 2/5 |
| Apropiado para | Pruebas normales | Requiere larga distancia |

Comparación ESP32 UWB Fuente: (Makerfabs, Makerfabs, s.f.)

2.5.3 BNO055

Fue desarrollado por Bosch Sensortec, es un sensor de movimiento y orientación, que integra un acelerómetro de tres ejes, un giroscopio de tres ejes y un magnetómetro de tres ejes. en un solo dispositivo (9 grados de libertad), incluye un procesador basado en ARM Cortex-M0 de alta velocidad que procesa de manera eficiente todos los datos del sensor. Realiza la fusión de sensores y cumple con las demandas en tiempo real, proporcionando datos valiosos que se pueden utilizar en varios formatos, como cuaterniones, ángulos de Euler o vectores.

El BNO055 puede generar una matriz de datos de sensores, en la Tabla 2.3 se describen, así:

Tabla 2. 3 Datos del BNO055

| | | |
|-----------------------------|--------|--|
| orientación absoluta | 100 Hz | Vector de Euler, tres ejes derivados. |
| vector de velocidad angular | 100 Hz | Representa la velocidad de rotación alrededor de tres ejes diferentes, expresada en radianes por segundo. |
| vector de aceleración | 100 Hz | Se compone de tres componentes diferentes: la aceleración debido a la gravedad y las componentes de aceleración lineal en cada eje (en m/s ²). |
| vector de fuerza | 20 Hz | Se utiliza un dispositivo de detección de campo magnético que tenga la capacidad de medir en tres ejes: x, y, z. |
| aceleración lineal | 100 Hz | Este vector consta de tres ejes, cada uno de los cuales representa la aceleración lineal (m/s ²), con el efecto de la gravedad restado. |
| Vector de Gravedad | 100 Hz | Representa la medida de la aceleración gravitatoria en tres direcciones diferentes, sin la influencia de ningún otro movimiento. Esta medida se expresa en metros por segundo al cuadrado (m/s ²). |
| temperatura | 1 Hz | Medida en grados Celsius |

Datos del acelerómetro BNO055 Fuente:(adafruit, s.f.)

Figura.2.10 Sensor 9-DOF, BNO055



BNO055-Adafruit Fuente: (Townsend, 2023)

2.5.4 Tecnología GSM

La tecnología GSM (Global System for Mobile Communications) es un componente electrónico que se utiliza para habilitar la comunicación móvil en dispositivos que no cuentan con la capacidad de conectarse directamente a una red de telefonía móvil. Estos módulos son pequeños dispositivos que incorporan un chip de comunicación, junto con otros componentes necesarios para facilitar la transmisión de voz, datos y mensajes de texto (SMS).

GSM abarca varias características notables, que incluyen las siguientes:

- Opera en modo digital: para la transmisión de voz y datos. Esto da como resultado una mejor calidad de audio y una mayor eficiencia en la utilización del espectro de frecuencias, superando las capacidades de los sistemas analógicos anteriores.
- El módulo de identidad del suscriptor: también conocido como SIM, es una parte integral del sistema GSM. Su propósito es verificar y conectar a los usuarios a la red, al insertar estas tarjetas en los teléfonos móviles, los usuarios pueden acceder a información esencial como su número de teléfono e identidad personal.
- La base de la arquitectura de la red GSM: se encuentra en el concepto de celdas, son áreas geográficas designadas que abarcan una extensión específica de tierra. Además, estas se subdividen en unidades más pequeñas para garantizar una mayor proximidad y una cobertura óptima para los usuarios.
- El roaming, permite a los usuarios utilizar sus teléfonos móviles en redes pertenecientes a operadores distintos de su proveedor local. Esto resulta útil cuando los usuarios se encuentran fuera del área de cobertura de su proveedor original.
- Eficiencia espectral: estas técnicas permiten la transmisión de múltiples llamadas y datos dentro del mismo ancho de banda, aumentando efectivamente la capacidad de la red.
- GSM también ofrece soporte para una variedad de servicios de datos. Estos servicios incluyen la posibilidad de enviar y recibir mensajes SMS (Servicio de mensajes cortos) y utilizar GPRS (Servicio general de paquetes de radio) para acceder a Internet y otros servicios que utilizan datos. (Correa Garduño Alam, 2019)

Tipos de módulos GSM

Dependiendo de las características y aplicaciones se tiene los siguientes módulos:

- SIM900

El módulo de comunicación GSM/GPRS es ampliamente utilizado y demandado por su capacidad para facilitar la comunicación de voz, mensajes de texto y transmisión de datos a través de GPRS. Está específicamente diseñado para ser compatible con la versión 2G de la red GSM y proporciona una interfaz fácil de usar para una comunicación fluida con otros dispositivos a través del UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

Contiene:

- Chip GSM/GPRS: El componente central del módulo que permite la comunicación inalámbrica a través de la red que utilizan los teléfonos celulares.
- Ranura para Tarjeta SIM: Un espacio donde se coloca una tarjeta SIM que autentica el módulo en la red y habilita el acceso a los servicios de comunicación.
- Antena: Necesaria para establecer la comunicación con la red GSM/GPRS. Interfaces de comunicación: Incluyendo la interfaz UART que permite la interacción con otros dispositivos y microcontroladores.
- Conexiones de alimentación: Para proporcionar la energía necesaria para su funcionamiento.

Figura.2.11 Módulo GSM - SIM900



La solución para la comunicación celular en proyectos electrónicos. Fuente: (wolfelectronics, 2023)

– SIM808

Es un módulo de comunicación inalámbrica que combina las funcionalidades de un módulo GSM/GPRS y un módulo GPS en un solo dispositivo, fabricado por SIMCom Wireless Solutions.

Las características, son:

- Proporciona funcionalidades de comunicación GSM/GPRS diseñadas específicamente para redes 2G. Permite a los usuarios participar en llamadas de voz, tanto salientes como entrantes, así como intercambiar mensajes SMS.
- La función GPS de este dispositivo incluye un receptor integrado que permite la adquisición de datos de ubicación y navegación, al recibir señales de los satélites GPS, puede calcular y proporcionar información de posicionamiento geográfico en tiempo real.
- Posee la capacidad de intercambiar datos a través de GPRS, esta característica lo convierte en una opción ideal para diversas aplicaciones, como IoT, telemetría y seguimiento de vehículos.
- Está equipado con varias interfaces de comunicación que facilitan la interacción con dispositivos externos o microcontroladores, entre ellas esta: UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) y SPI (Serial Peripheral Interface).

Figura.2.12 Modulo SIM808



Conectividad y Comunicación en un solo Dispositivo. Fuente: (prometec, s.f.)

– IOT-GA6

Es un dispositivo de comunicación compacto que utiliza el módulo inalámbrico A6. Permite a los usuarios acceder a servicios de banda cuádruple, incluidas llamadas de voz, mensajes SMS y transferencia de datos a través de Internet. El módulo incluye un enchufe Micro SIM, pines de comunicación UART y conexiones para auriculares y micrófonos, lo que lo convierte en una herramienta conveniente y versátil para fines de comunicación portátil.

El objetivo principal del módulo IOT-GA6 es ofrecer conectividad inalámbrica para una amplia gama de proyectos y aplicaciones, incluidos, los siguientes:

- El Internet de las cosas (IoT): permite la conexión de dispositivos y sensores a la red de telefonía móvil, lo que facilita la transmisión de datos y permite la interacción remota con dispositivos IoT.
- Las aplicaciones M2M (máquina a máquina): es la comunicación directa entre máquinas y dispositivos sin necesidad de intervención humana. Este tipo de comunicación demuestra ser valioso en varios sectores, como aplicaciones industriales, seguimiento de vehículos, telemetría y más.
- La automatización industrial: tiene la capacidad de incorporarse sin problemas a los sistemas de control y monitoreo industrial existentes, lo que permite una comunicación de datos optimizada y funcionalidades de control remoto.
- Los proyectos que involucran sistemas de administración de edificios (BMS): ayudan en la supervisión y regulación de varios sistemas de automatización de edificios, incluidos, entre otros, los sistemas de seguridad, iluminación y calefacción.
- La domótica: permite el desarrollo de soluciones para el control de electrodomésticos y sistemas de seguridad dentro del hogar.

Figura.2.13 Imagen módulo GSM IOT-GA6



Módulo GSM IOT-GA6: Conectividad avanzada proyectos IoT. Fuente: (Aguirre, 2021)

2.6 Power Bank

También conocidas como baterías externas o cargadores portátiles, son dispositivos portátiles que se utilizan para cargar dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles, tabletas, cámaras, reproductores de música, sensores, entre otros dispositivos.

Generalmente están equipadas con baterías de litio-ion o litio-polímero y cuentan con puertos USB para conectar los dispositivos que se desean cargar, conectando el cable del dispositivo a la Power Bank, y esta última proporciona la energía necesaria para cargar la batería del dispositivo.

Sus características varían según el modelo y la capacidad de la batería. Algunos aspectos de ellas son:

- Capacidad: se mide en mAh (miliamperios-hora) y es indicativa de su capacidad de almacenamiento de energía. Una mayor capacidad se traduce en la capacidad de proporcionar múltiples cargas completas a un dispositivo.
- Número de puertos USB: algunas cuentan con múltiples puertos USB para cargar varios dispositivos simultáneamente.
- Tamaño y peso: es significativo considerar el tamaño y peso, ya que esto afectará su portabilidad o ubicación.

- Velocidad de carga: algunas tienen características de carga rápida. (Olivares, 2019)

2.7 Software

2.7.1 Arduino IDE

Es una herramienta gratuita y de código abierto que facilita la creación y carga de programas en los dispositivos Arduino.

Las características y funcionalidades son:

- Editor de código: Proporciona un editor de texto con resaltado de sintaxis, lo que facilita la escritura y edición de código en lenguaje Arduino (basado en C/C++).
- Compilación y carga: verificando si hay errores de sintaxis y posteriormente, cargar el programa resultante en la placa Arduino a través de un cable USB.
- Bibliotecas: Incluye una serie de bibliotecas y ejemplos que facilitan la programación y el uso de diferentes componentes y sensores.
- Monitor Serie: Facilita una interfaz para ver la salida del programa a través del puerto serie, lo que es útil para depurar y mostrar mensajes durante la ejecución del programa.
- Gestión de placas: Permite seleccionar el tipo de placa Arduino que se está utilizando y configurar las opciones específicas para cada modelo. (ARDUINO, 2018)

2.7.2 Firebase

Es una plataforma desarrollada por Google que proporciona una amplia gama de servicios y herramientas en la nube para facilitar el desarrollo de aplicaciones web y móviles. Algunas de las características clave de Firebase incluyen:

- Sistema de sincronización de datos en tiempo real: posibilita la actualización sincronizada de información entre los usuarios y el servidor de forma inmediata. Esta herramienta resulta especialmente beneficiosa para aplicaciones que demandan cambios en tiempo real, como los chats y las plataformas colaborativas.
- Autenticación de usuarios: proporciona servicios de autenticación que permiten a los desarrolladores agregar fácilmente funciones de inicio de sesión y registro a sus aplicaciones. Admite varios proveedores de autenticación, como Google, Facebook, Twitter y más.
- Hosting y almacenamiento de archivos: admite alojar aplicaciones web y estáticas directamente desde sus servidores, lo que facilita la implementación y la posada de aplicaciones al igual que el almacenamiento en la nube, acumulando y administrando archivos, como imágenes y videos.
- Servicio de envío de mensajes en línea: Ofrece a los programadores la opción de enviar notificaciones instantáneas a los usuarios de sus aplicaciones, mejorando así su comunicación y proporcionándoles información actualizada al instante.
- Análisis: brinda a los creadores la capacidad de seguir y evaluar la conducta de los usuarios en sus apps, suministrando datos relevantes para la mejora y optimización de las mismas.
- Pruebas y monitoreo: permite a los desarrolladores identificar problemas y errores y realizar mejoras en sus aplicaciones.
- Machine Learning: Aprovechando la tecnología de ML Kit, los desarrolladores pueden añadir funciones de IA a sus aplicaciones, tales como la capacidad de reconocer texto, detectar rostros y etiquetar imágenes. (Huallpa, 2020)

2.7.3 Visual Studio Code

Desarrollado por Microsoft, Visual Studio Code es un popular editor de código utilizado por programadores para escribir y modificar código en múltiples lenguajes de programación. Se destaca por su capacidad de personalización, rapidez y versatilidad, ofreciendo numerosas funciones avanzadas que agilizan el proceso de desarrollo de aplicaciones y software. Su objetivo principal es brindar a los usuarios una plataforma optimizada y eficiente para escribir, editar y depurar código en una amplia gama de

lenguajes de programación.

Con su amplia selección de extensiones y soporte para múltiples plataformas, Visual Studio Code se ha convertido en una opción favorita entre los desarrolladores para la escritura de código eficiente y el trabajo colaborativo en proyectos de software. (Flores, 2022)

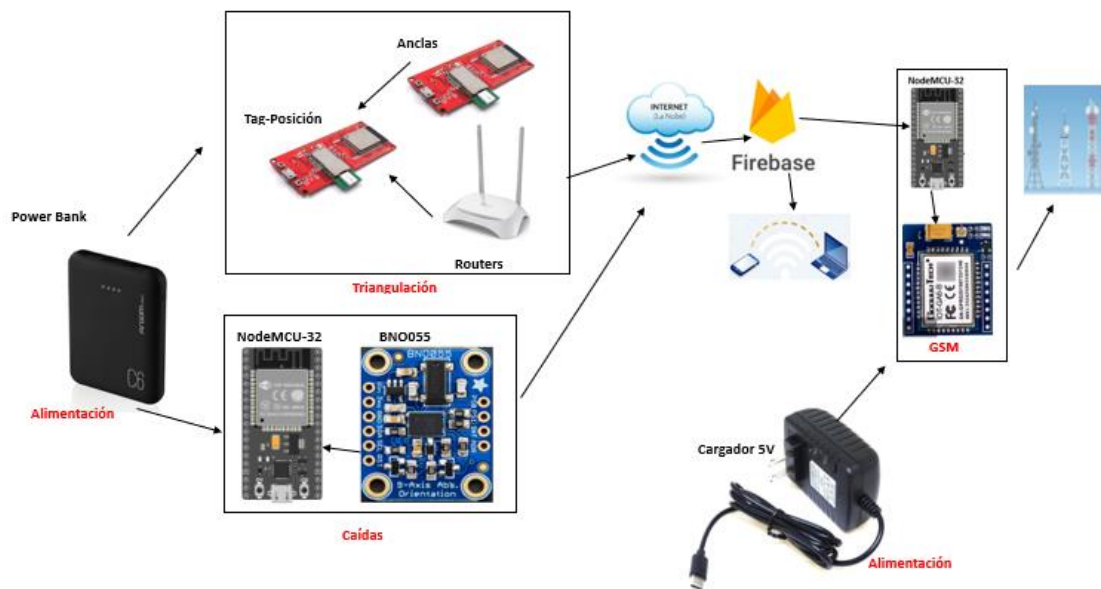
CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROYECTO

Este capítulo corresponde, a la selección de dispositivos, su desarrollo y explicación de la parte del software y hardware, con sus respectivos diagramas de flujo de las programaciones realizadas, para el funcionamiento del objetivo.

3.1 Diagrama de bloques general

Figura.3.1 Diagrama de bloques del Sistema de detección de caídas



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

En la Figura 3.1 se puede observar un diagrama general de la composición de los dispositivos y su comunicación, para ello se describe cada bloque y su función.

1. Power Bank: una fuente de energía portátil utilizada para alimentar los dispositivos del sistema, como las ESP32 UWB Pro (Tag) y el acelerómetro BNO055, asegurando su funcionamiento continuo. El voltaje que brinda es de 5V y su capacidad de corriente es 6000mAh.
2. Triangulación: representa las unidades de localización equipadas con tecnología UWB (Ultra-Wideband). Son las encargadas de medir la distancia entre sí para realizar la triangulación y determinar la ubicación precisa de los adultos mayores en

tiempo real. Compuesta de dos anclas y un tag, al igual que una red de routers que se utilizan estratégicamente para medir la intensidad de las señales del wifi, cuando no está presente ninguna ancla, para la conexión con el tag, mejorando la precisión y el alcance de la localización.

3. Acelerómetro BNO055 y la ESP32: este bloque simboliza el sensor de BNO055, responsable de detectar cambios en la aceleración y orientación del cuerpo de los adultos mayores para identificar situaciones de caídas o cambios bruscos de posición. Conectada a una esp32 individual, para no sobrecargar de datos al módulo de la triangulación.
4. Aplicación Web (Firebase): corresponde a la interfaz de usuario proporcionada por una aplicación web alojada en Firebase. Permite a los usuarios recibir alertas y visualizar información sobre caídas y ubicaciones de adultos mayores monitoreados en tiempo real.
5. Módulo GSM IOT-GA6: se utiliza para la comunicación a través de redes móviles GSM. Se encarga de enviar notificaciones a los contactos del centro de monitoreo cuando se detecta una caída por parte del acelerómetro BNO055 siendo alimentados estos dispositivos por fuentes independientes.

3.2 Dispositivos seleccionados

Es importante describir por que se seleccionó los dispositivos y saber sus características útiles para la implementación.

- ESP32 UWB Pro

Las ventajas y características de este dispositivo están presentes por la tecnología Ultra-Wideband (UWB), que permite una precisión excepcional en la medición de distancias entre dispositivos, fundamental para la triangulación y determinación de la ubicación precisa de los adultos mayores en tiempo real.

Así mismo, su amplio soporte de comunicación cuenta con múltiples interfaces de comunicación, como UART, I2C, SPI, Bluetooth y Wi-Fi, lo que facilita la integración con otros dispositivos y sensores en el sistema. La potencia de procesamiento está equipada con un procesador de doble núcleo y suficiente memoria, lo que le proporciona capacidad de procesamiento para realizar cálculos complejos y manejar grandes cantidades de datos.

Excelente conectividad inalámbrica, ofrece conectividad Wi-Fi y Bluetooth, lo que

permite una comunicación inalámbrica efectiva con otros dispositivos, como la Aplicación Web en Firebase y el módulo GSM IOT-GA6. También tiene un bajo consumo de energía, optimizando el consumo de energía, lo que es importante para la implementación una operación prolongada con una fuente de energía limitada, como el uso de Power Bank. Poseen una gran versatilidad, ampliamente utilizada en sistemas de localización en tiempo real debido a sus capacidades de conectividad y procesamiento.

Y para la parte del software es compatible con Arduino IDE, lo que facilita la programación y desarrollo de aplicaciones para el sistema.

Las características del módulo integrado, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Características principales del módulo DWM1000

| UWB DWM1000 | |
|--------------|-------------------|
| Comunicación | Inalámbrico |
| Estándar | IEEE802.15.4-2011 |
| Distancia | 200m |
| Precisión | 10cm |
| Velocidad | Hasta 6.8 Mb/s |

Características UWB-DWM1000. Fuente: (CONSULTORS, s.f.)

Las diferencias que tiene una NodeMCU ESP32 y la ESP32 UWB Pro son las que permitieron la elección adecuada, para la implementación.

La ESP32 UWB Pro está equipada con un chip UWB que le permite medir distancias de manera muy precisa, lo que la hace ideal para aplicaciones de localización en interiores, seguimiento de objetos y otras aplicaciones de posicionamiento.

Por otro lado, la NodeMCU ESP32 no tiene esta funcionalidad UWB incorporada y eso por la cual no tiene precisión.

– BNO055

Este dispositivo tiene una funcionalidad integral, es un sensor de movimiento 9DOF que integra giroscopio, acelerómetro y magnetómetro en un solo chip, proporcionando la

obtención de datos precisos sobre la orientación y movimiento en tiempo real, para la detección de caídas.

A diferencia de otros acelerómetros solo tienen giroscopio y acelerómetro, el BNO055 es elegido por sus capacidades de fusión de datos y procesamiento interno.

La Interfaz como I2C o UART facilita la integración en diferentes plataformas y sistemas, así permitiendo una rápida implementación y bajo consumo de energía en el sistema de detección de caídas. Al igual que tiene un tamaño compacto, garantizando en la implementación para el sistema de detección de caídas sea cómodo y no invasivo para los usuarios.

– IOT-GA6

Seleccionado por la capacidad de proporcionar una comunicación celular confiable y eficiente, lo que permite una amplia cobertura y facilidad de integración, tiene un bajo consumo de energía y costos económicos lo convierten en una opción adecuada para estas aplicaciones y requisitos de duración de la batería.

Al poseer SMS, es ideal para su implementación del desarrollo de los objetivos.

– Power Bank

Debido a la necesidad de energía inalámbrica, ciertos dispositivos instalados en una placa dentro del arnés dependen de una batería portátil. Esto incluye el tag, específicamente el esp32 UWB Pro, que proporciona datos de posición, y el BNO055, junto con un esp32 estándar, que ofrece información sobre orientación y movimiento con el fin de detectar caídas.

3.3 Softwares seleccionados

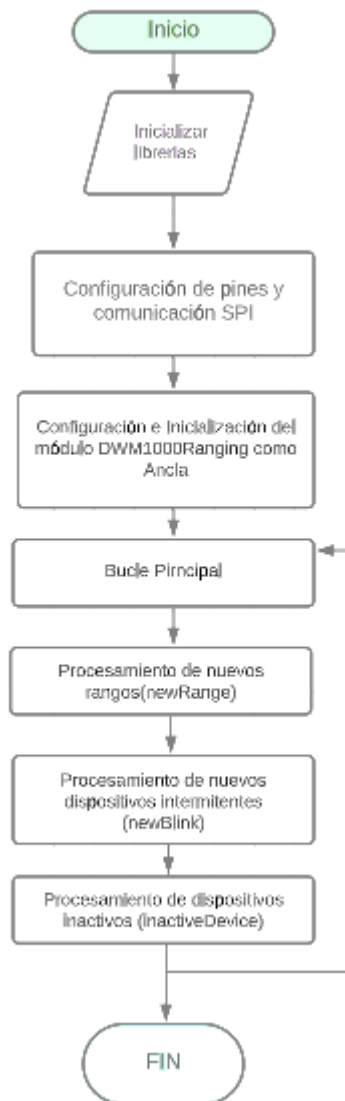
Tabla 3.2 Características de softwares

| | |
|-----------------------|--|
| FIREBASE | Equipada con una API fácil de usar con la capacidad de enviar notificaciones a los dispositivos móviles de los cuidadores de la residencia Mi dulce Hogar brinda una característica valiosa. La funcionalidad de la base de datos facilita el almacenamiento y la sincronización de datos entre los dispositivos y el servidor. |
| TYPESCRIPT Y ANGULAR | Se seleccionó estas tecnologías para desarrollar el sitio web debido a su simplicidad y velocidad. Además, la página en sí es pequeña y su funcionalidad se limita a mostrar en tiempo real la ubicación de los ancianos dentro de la residencia, así como proporcionar indicadores de su estado actual, como si han sufrido una caída. |
| HTML, CSS | Para este sitio web HTML se usó para estructurar la página mientras que los CSS permitió darle estilos. |
| C++ (ARDUINO) | Se programaron las distancias de las anclas de posicionamiento utilizando el lenguaje C++ en Arduino. Esto involucró la implementación de algoritmos y cálculos para determinar la distancia entre el dispositivo y cada una de las anclas, lo que permitió obtener la ubicación precisa del dispositivo en tiempo real, realizando así la triangulación. Además, se utilizó la programación en C++ para trabajar con un acelerómetro, el cual se configuró para medir la aceleración del dispositivo y utilizar esta información en el algoritmo de determinación de la orientación y el movimiento. |
| AT (COMUNICACIÓN GSM) | Se utilizó la comunicación AT para configurar y utilizar el módulo GSM que permite enviar mensajes de texto, estableciendo la conexión con la red de telefonía móvil, la configuraron parámetros como el número de teléfono de destino y el envío de los mensajes de texto con la información obtenida de las anclas y el acelerómetro. |

Software implementado en el proyecto: Fuente: (Penchev Tanev, 2018)

3.4 Diagramas de flujo

Figura.3.2 Diagrama de flujo de rango de las Anclas DWM1000



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

El programa configura y utiliza el módulo DW1000Ranging para realizar mediciones de rango y comunicación con dispositivos DW1000. Se establece el dispositivo como un anclaje (anchor) y se espera recibir datos de otros dispositivos DW1000 que actúan como etiquetas (tags) o dispositivos intermitentes (blink). Cuando se detectan nuevos rangos con la función newRange o dispositivos intermitentes, se procesan y muestran las mediciones de rango, así como la dirección y potencia del dispositivo remoto, a través de la comunicación serial.

Además, la función inactiveDevice se utiliza para manejar dispositivos que se vuelven inactivos durante el proceso de rango. El bucle principal es el núcleo del programa, ya

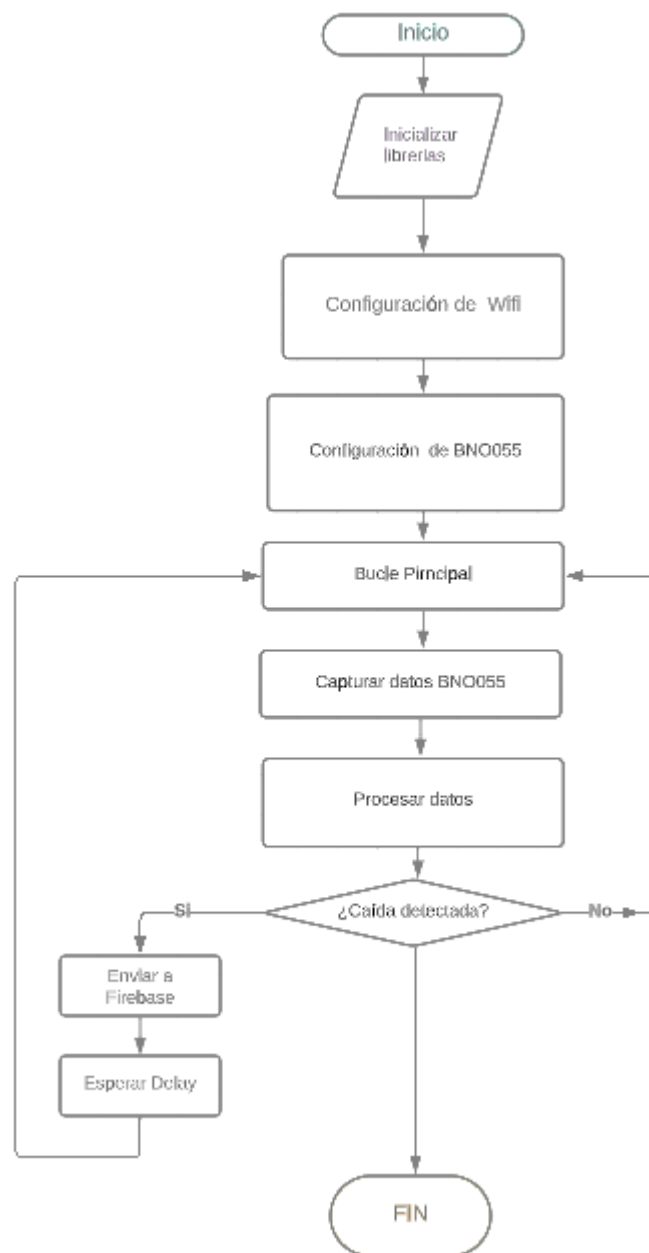
que asegura que el módulo DW1000Ranging esté en constante funcionamiento, procesando datos de rango y comunicación para mantener actualizada la información y responder a eventos importantes en el sistema de ranging.

Las direcciones colocadas para cada ancla son las siguientes:

ANCHOR_ADD "82:17:5B: D5:A9: 9A:E2:9C"

ANCHOR_ADD "83:17:5B: D5: A9: 9A:E2:9C"

Figura. 3.3 Envío de datos de caída a Firebase tras detección. Diagrama de Flujo



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

La Figura. 3.3 corresponde al código de monitoreo y detección de caídas utilizando el sensor Adafruit BNO055, un sensor de orientación, y el módulo FirebaseESP32 para enviar los datos recopilados a la plataforma Firebase.

El programa primero configura la comunicación, inicializa y configura el sensor BNO055 y luego entra en un bucle continuo de captura, procesamiento y envío de datos a Firebase. Durante el proceso, se realiza la detección de caídas utilizando los datos del sensor BNO055 y se notifica a Firebase cuando se detecta una caída. La plataforma Firebase se utiliza para almacenar y visualizar los datos recopilados del sensor y las detecciones de caídas realizadas.

Para la programación es importante tomar en cuenta lo siguiente:

Las bibliotecas necesarias para el funcionamiento del programa son aquellas que incluyen la comunicación I2C, el sensor Adafruit BNO055, el módulo FirebaseESP32 y la conectividad WiFi.

Figura.3.4 Librerías del sensor BNO055

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BNO055.h>
#include <utility/imuMaths.h>
#include <FirebaseESP32.h>
#include <WiFi.h>
```

Código fuente: Arduino

Variables que representa el tiempo de espera entre muestras del sensor BNO055, al igual que una instancia del objeto Adafruit_BNO055 llamada "bno", que se utilizará para acceder a los datos del sensor.

Figura.3.5 Constantes para detección de caídas

```
// Constantes para detección de caídas
const float FALL_THRESHOLD = 2.0;
const int FALL_CONFIRM_TIME = 5000;
const float Y_FLAT_THRESHOLD = 15.0;
const float Y_FLAT_THRESHOLD_UP = 70.0;
```

Código fuente: Arduino

Figura. 3.6 Diagrama de Flujo del Programa de Localización con DW1000Ranging y Firebase



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

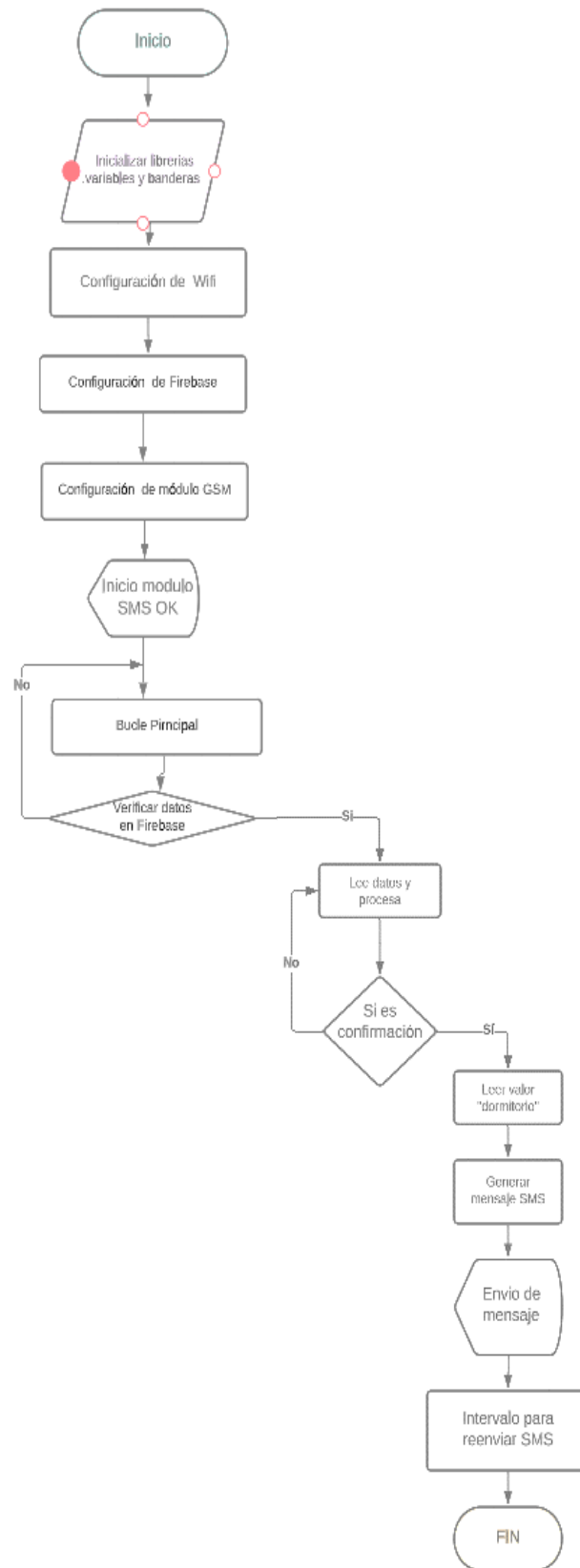
El programa consiste en un sistema de localización basado en el módulo DW1000Ranging para medición y rastreo de dispositivos, y utiliza Firebase para la comunicación y almacenamiento de datos.

El resumen general de lo que hace el programa es el siguiente:

- Inicialización: El programa inicia la comunicación serial y se conecta a una red Wi-Fi específica para permitir la comunicación y acceso a Firebase.
- Configuración del módulo DW1000Ranging: Se inicializa la comunicación SPI y el módulo DW1000Ranging, definiendo los pines de conexión y estableciendo el módulo como una "etiqueta" (tag) para que pueda ser rastreada por anclajes en el sistema de localización.
- Bucle Principal: El programa entra en un bucle principal que se ejecuta continuamente mientras el programa está en funcionamiento.
- Rastreo con DW1000Ranging: Dentro del bucle principal, se ejecutan las operaciones de DW1000Ranging, que permiten detectar y medir distancias con dispositivos cercanos. Se gestionan eventos como nuevos rangos con dispositivos y detección de nuevos dispositivos.
- Envío de Datos a Firebase: En intervalos de tiempo específicos, el programa envía datos relacionados con los dispositivos rastreados a Firebase, donde se almacenan y pueden ser visualizados desde una aplicación o interfaz web.
- Escaneo Wi-Fi: También en intervalos de tiempo específicos, se realiza un escaneo para buscar redes disponibles y detectar dispositivos cercanos.

Figura.3.7 Diagrama de Flujo del Programa de envío de mensajes con el módulo GSM

A6

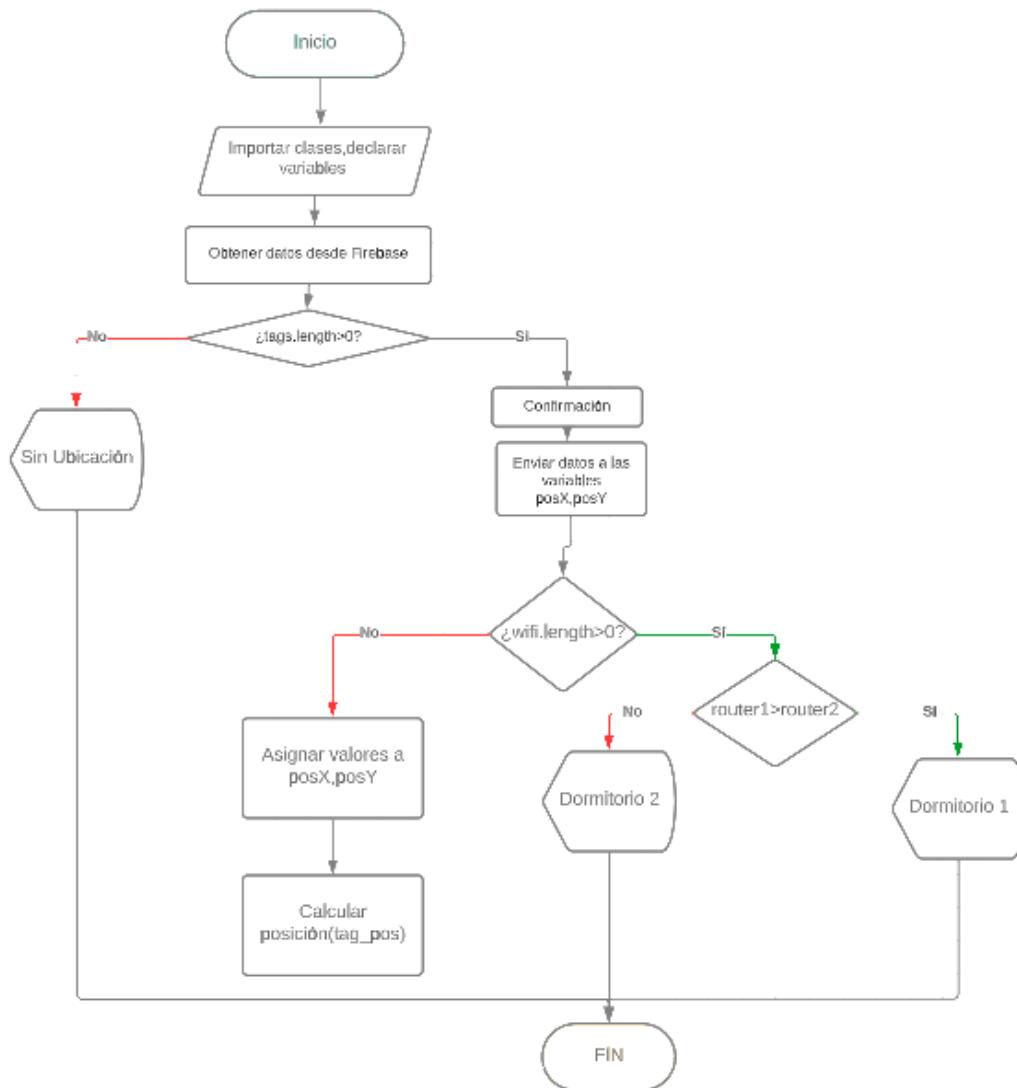


Elaborado por: Josselyn Ordóñez

Para el sistema de alerta de caídas como se ve en la Figura 3.7, se utiliza el módulo GSM A6 para enviar mensajes SMS, el programa se conecta a una red Wi-Fi y a Firebase para obtener información sobre la caída y la habitación donde ocurrió, verificando la confirmación de la caída a través de la variable "confirmed". Si se confirma una caída, se genera y envía un mensaje SMS de alerta con detalles sobre la habitación y la caída, luego, el programa espera un intervalo de tiempo antes de enviar otro mensaje SMS en caso de que haya una nueva confirmación.

El proceso de "Evaluar Confirmación de Caída" es clave en el flujo del programa, ya que determina si se envía o no el mensaje de alerta. Si la confirmación es verdadera, se procede al envío del SMS, y si es falsa, el programa continúa sin enviar el mensaje.

Figura.3.8 Diagrama de Flujo de ubicación y detección de caídas



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

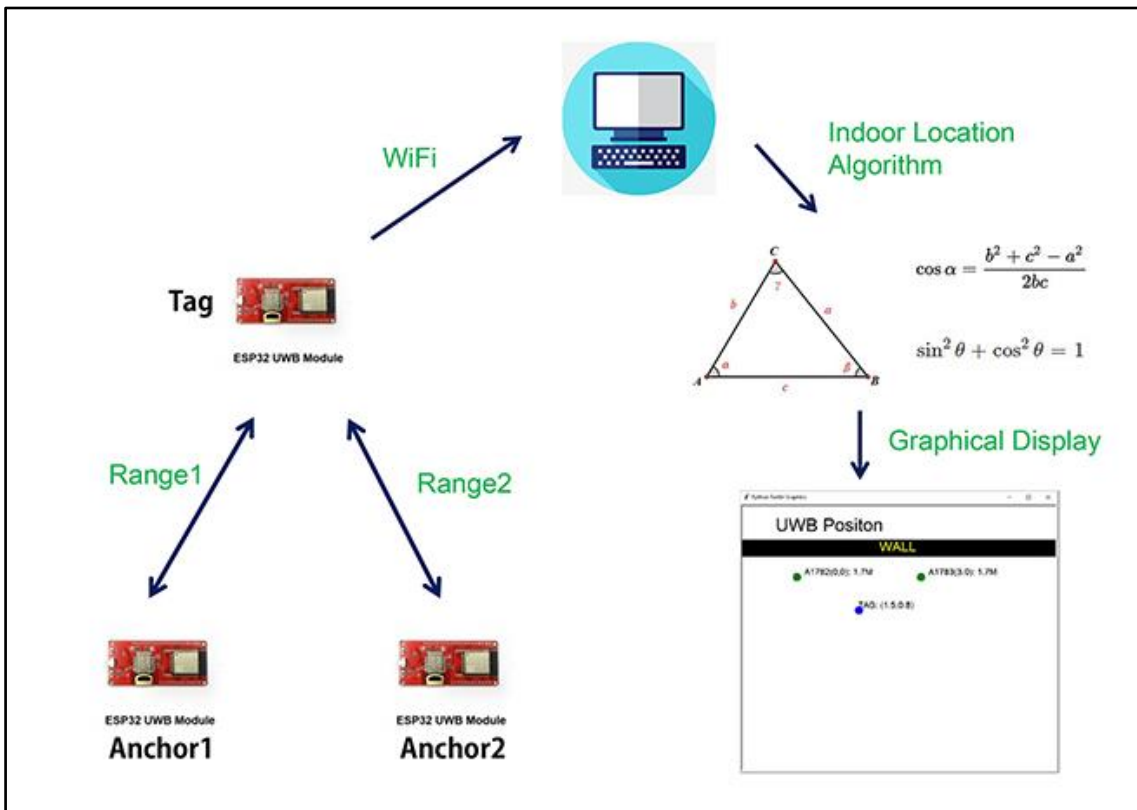
La Figura.3.8, corresponde al programa en un componente de Angular que se encarga de obtener datos de Firebase y calcular la posición de una etiqueta. Dependiendo de los datos obtenidos, determina la ubicación actual y muestra un mensaje relacionado con la habitación donde se encuentra la etiqueta o si no se ha podido ubicar.

– Cálculo Matemático

Para el cálculo de las anclas, formando parte de la triangulación se utilizó el cálculo matemático de la Ley de coseno.

Tomando en cuenta que se usó dos anclas UBW y 1 etiqueta UBW. Cuando el tag o etiqueta tiene su posición, este envía a las anclas y se podrá visualizar en la aplicación realizada.

Figura.3.9 Esquema general de la triangulación

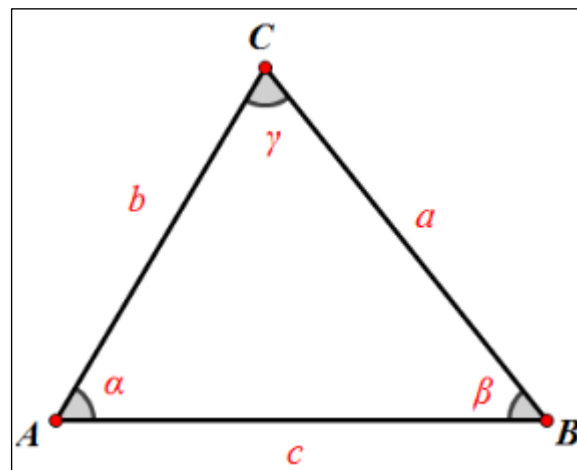


Triangulación con módulos ESP32 UWB Pro.Fuente: (Makerfabs, Makerfabs, 2022)

Las ubicaciones de las tres anclas están en colocadas a la misma altura horizontal, es por ello se puede obtener las distancias entre los 3 módulos UWB.

En la siguiente Figura se observa cómo sería su estructura en función de la triangulación.

Figura. 3.10 Anclas y Tag, triangulación



Triangulación con las anclas y tag Fuente: (Makerfabs, Makerfabs, 2022)

Dónde:

A= ancla 1

B= ancla 2

C=Tag o etiqueta

En la Figura. 3.10 se observa que hay dos puntos de anclaje distintos, como "AB" y un punto separado denominado como "C", la distancia existente entre los puntos de anclaje se indica como "c", mientras que la tecnología UWB dará como resultado la determinación de dos longitudes separadas, a saber, "a" y "b". El punto de tag "C" se coloca a "b" unidades de distancia del punto "A" y "a" unidades de distancia del punto "B".

Para establecer los ejes correspondientes del punto "C", es necesario aplicar la ley de cosenos, ecuación 3 y teorema de Pitágoras, ecuación 4, cuya representación es la siguiente:

Ecuación Ley de Cosenos

$$\cos\alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad \text{Ec.3}$$

Ecuación Teorema de Pitágoras

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1 \quad \text{Ec.4}$$

El ancla A, se lo establece como el punto del origen (0,0) y sus distancias entre anclas son de 6 metros, la posición para B (6,6)

La Figura 3.4.10 indica la programación para el cálculo de la posición:

Figura.3.11 Cálculo de la posición.

```
tag_pos(a: number, b: number, c: number): [number, number] {  
  const cos_a = (b * b + c * c - a * a) / (2 * b * c);  
  let x = b * cos_a;  
  let y = b * Math.sqrt(1 - cos_a * cos_a);  
  x = x < 0 ? 0 : x;  
  y = y < 0 ? 0 : y;  
  return [x, y];  
}
```

Elaborado por: Josselyn Ordóñez

3.5 Estructura del equipo

Figura.3.12 Estructura de la caja para dispositivos

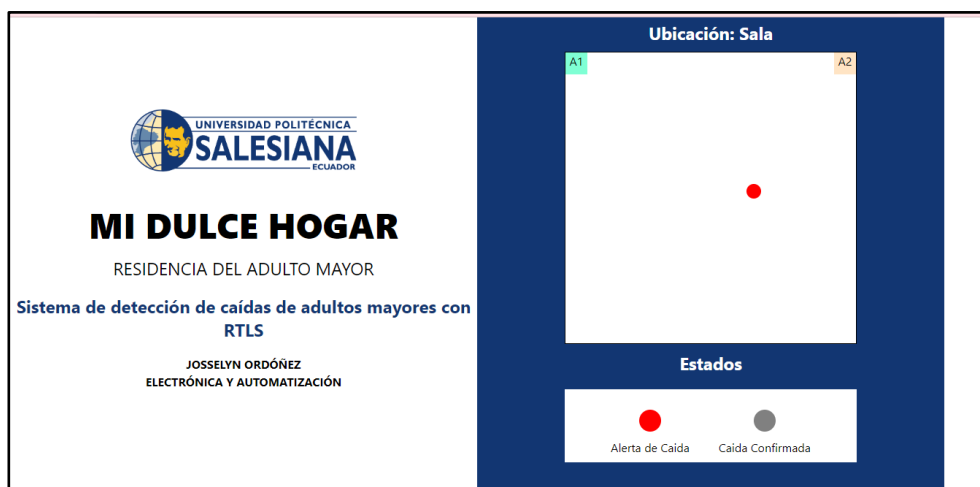


Elaborado por: Josselyn Ordóñez

En la Figura.3.12 muestra el diseño desarrollado para la implementación de los dispositivos que portara el arnés, está compuesto por dos niveles, donde el inferior se encuentra la batería inalámbrica para poder alimentar a la ESP32 UWB Pro y al acelerómetro BNO055 conectado con una ESP32. También dispone de salidas para los puertos de los cables para sus conexiones.

3.6 Aplicación para ubicación y detección de caídas en la residencia Mi Dulce Hogar

Figura.3.13 Interfaz de aplicación desarrollada en Firebase



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

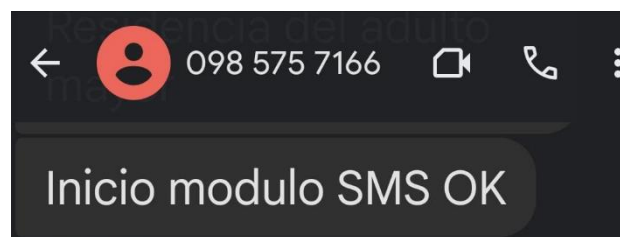
Los datos de la información de la aplicación se colocan en el lado derecho de la página,

mientras que su parte de visualización se sitúa en el lado izquierdo. También se muestran la ubicación de la etiqueta y sus estados en tiempo real.

El dispositivo incorpora dos mecanismos de advertencia distintos. El primer aviso es una alerta visual que se activa ante movimientos bruscos al caminar, sirviendo como medida de precaución. La segunda advertencia, sin embargo, sirve como confirmación definitiva de una caída. En este caso, ambos indicadores se iluminarán en rojo y enviarán automáticamente un mensaje de texto al número programado, que suele ser la información de contacto de un cuidador que reside en el mismo hogar. Esto asegura una asistencia inmediata en caso de emergencia.

3.7 Envío de SMS

Figura.3.14 Mensaje de inicio de módulo GSM



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

El módulo SMS ha completado con éxito su proceso de inicio e inicialización, emite el mensaje "Inicio módulo SMS OK" para indicar que está listo para operar y que se encuentra en un estado funcional para enviar y recibir mensajes de texto.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Implementación del prototipo

Figura.4.1 Prototipo instalado con los dispositivos



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

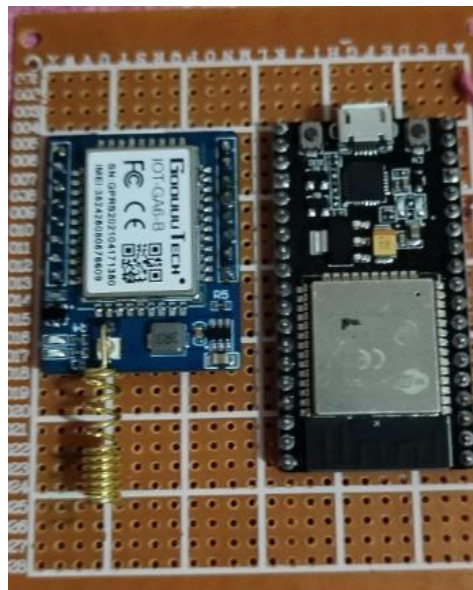
El arnés instalado en la persona adulta tiene una estructura fija a su cuerpo, no incomoda a su movilidad normal, el peso de la caja portadora de los dispositivos es totalmente liviana para cargar, con un peso de 650 gramos en relación.

Figura.4.2 Prototipo instalado con los dispositivos



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

Figura 4.3 Módulo GSM conectado



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

4.2 Pruebas realizadas en la residencia Mi Dulce Hogar

Figura.4.4 Plano de la residencia Mi Dulce Hogar

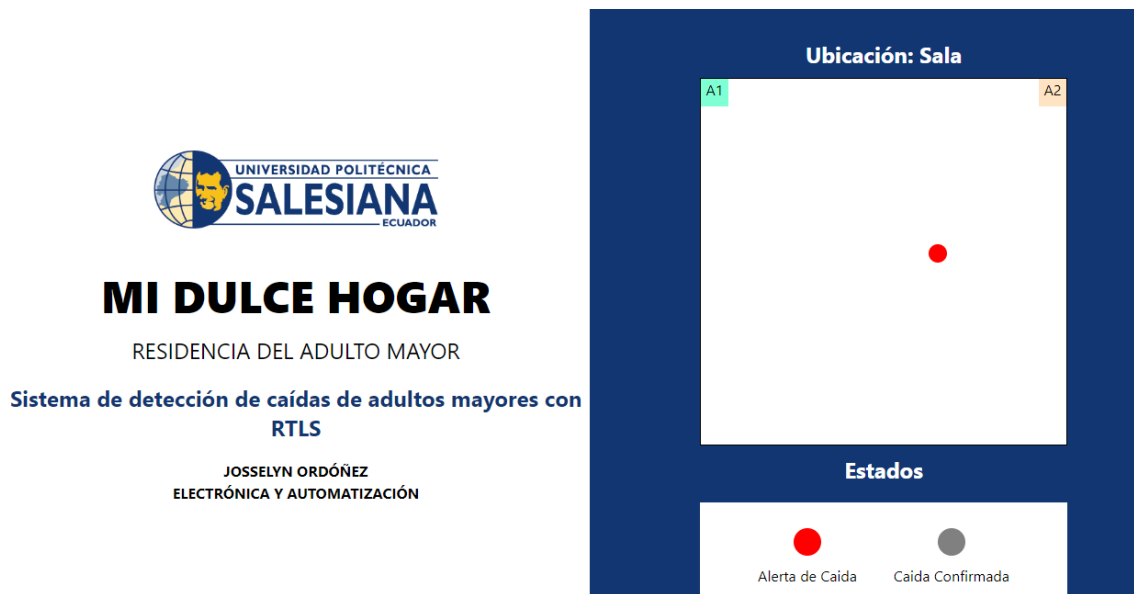


Elaborado por: Josselyn Ordóñez

La Figura.4.4 presentada corresponde a un plano general de la Residencia Mi Dulce Hogar, donde se visualiza las habitaciones, sala, baños y demás espacios que lo conforman.

La determinación de los puntos tomados para la implementación fue: la sala, lugar donde pasan los adultos mayores sin supervisión y pasan la mayoría de tiempo, dormitorio 1 y dormitorio 2, donde ya se trasladan para dormir, siendo un lugar con menos riesgos de sufrir accidentes ya que cuenta las camas con barandales.

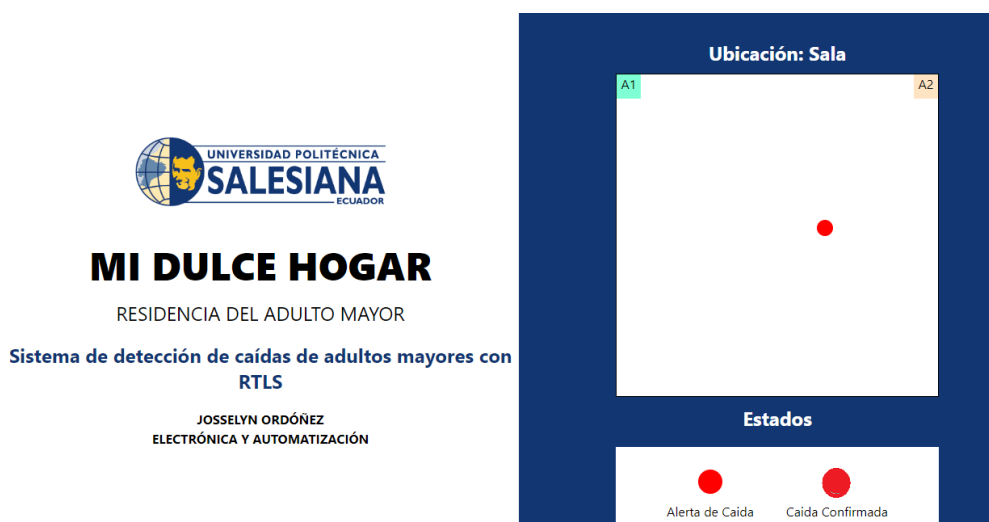
Figura.4.5 Ubicación y estado determinado dentro de la Residencia



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

Se observa la ubicación del adulto mayor en la sala en tiempo real y sin alerta de caída confirmada, en el cuadro de visualización del lugar indica una referencia de las dos anclas colocadas en las esquinas de las salas con una distancia de seis metros.

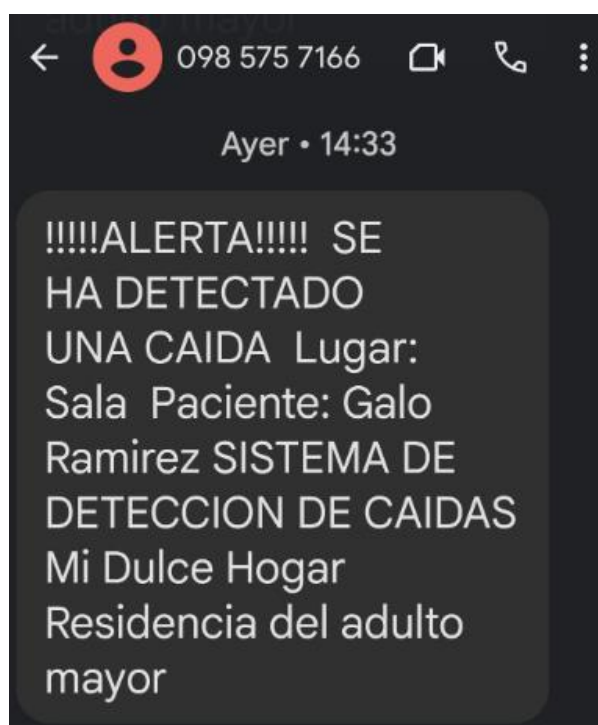
Figura.4.6 Alerta de caída en la aplicación web



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

Existe una caída confirmada, en la aplicación y se observa su ubicación.

Figura.4.7 Notificación de mensaje de caída confirmada



Elaborado por: Josselyn Ordóñez

Al instante se efectúa el mensaje de notificación de la caída del adulto mayor

Tabla 4.1 Resultados de pruebas de ubicación

| Intentos | Dormitorio 1 | Dormitorio 2 | Sala |
|----------|--------------|--------------|--------------|
| | Experimental | Experimental | Experimental |
| 1 | NO | NO | NO |
| 2 | NO | NO | NO |
| 3 | SI | SI | SI |
| 4 | SI | SI | SI |
| 5 | SI | SI | SI |
| 6 | SI | SI | SI |
| 7 | SI | SI | SI |
| 8 | SI | SI | SI |
| 9 | SI | SI | SI |
| 10 | SI | SI | SI |

Elaborado por: Josselyn Ordóñez

$$\%Aciertos = \frac{\text{intentos totales} - \text{fallos}}{\text{intentos totales}} * 100 \quad \text{Ec.5}$$

$$\% Aciertos = \frac{10 - 2}{10} * 100$$

$$\% Aciertos = 80$$

En la Tabla 4.1 se puede observar un total de 10 pruebas realizadas, consideradas las necesarias para la obtención de datos correctos, el cual tiene como resultado 8 aciertos y 2 fallos del valor de la posición real, dando como un porcentaje favorable del 80% y el 20% de error se debe a la configuración y ubicación de las anclas y el tag, así como la intensidad de los Routers.

Tabla 4.2 Resultados de pruebas de estado

| Intentos | Alerta de caída | Alerta de caída y Caída confirmada |
|-----------|-----------------|------------------------------------|
| Condición | Experimental | Experimental |
| 1 | NO | SI |
| 2 | NO | SI |
| 3 | NO | SI |
| 4 | SI | SI |
| 5 | SI | SI |
| 6 | SI | SI |
| 7 | SI | SI |
| 8 | SI | SI |
| 9 | SI | SI |
| 10 | SI | SI |

Error de alerta de caída:

$$\%Error = \frac{\text{intentos totales} - \text{aciertos}}{\text{intentos totales}} * 100 \quad \text{Ec.6}$$

$$\% Error = \frac{10 - 7}{10} * 100$$

$$\% Error = 30$$

Los datos obtenidos de la Tabla 4.2, en el estado de alerta de caída se presentan un error de 30%, que se debe a las posiciones semejantes a una caída, los cuales dan una alarma falsa. Debido a la configuración de aceleración de corte del BNO055.

Error de alerta de caída y caída confirmada:

$$\%Aciertos = \frac{\text{intentos totales} - \text{fallas}}{\text{intentos totales}} * 100 \quad \text{Ec.5}$$

$$\% Aciertos = \frac{10 - 0}{10} * 100$$

$$\% Aciertos = 100$$

Para estos datos obtenidos se tiene un porcentaje de aciertos confirmados del 100%, debido a las condiciones establecidas, solo cuando los dos se enciendan será un dato verdadero esto se debe a la configuración de aceleración de corte, ya que en la programación se establece si es mayor a 2 y durante 5 segundos es menor a los 15 grados en el eje y, ya se lo considera como caída, entonces mientras no se active la aceleración no se verificará una caída.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

De la investigación de la estrategia de detección de caídas se determinó que el dispositivo adecuado es el BNO055, que integra un acelerómetro de tres ejes, un giroscopio de tres ejes y un magnetómetro de tres ejes, logrando obtener todo esto en un solo dispositivo (9 grados de libertad), enviando los datos de una caída confirmada, siendo parte de la triangulación, para la ubicación en tiempo real.

Se configuro las ubicaciones y la programación mediante C++ de dos anclas, un tag ESP32 UWB Pro y Routers que reciben la señal del tag, que permitieron obtener la posición en tiempo real del adulto mayor. Como muestra los resultados obtenidos en la tabla 4.1, realizadas de diez pruebas, que da un dato del 80% de aciertos.

Se implementó el envío de mensajes por medio del módulo GSM IOT-GA6, para notificar el estado del adulto mayor y también una aplicación desarrollada en Firebase que indica la ubicación en tiempo real, el estado de alerta de caída y/o caída confirmada.

Se realizaron pruebas en la residencia de Mi Dulce Hogar, utilizando el prototipo terminado. En los dormitorios y sala se instalaron los dispositivos de la triangulación para obtener la posición en tiempo real. Obteniendo un 80% de aciertos de la ubicación en el dormitorio 1, dormitorio 2 y sala. Dando como resultado un 20% de error debido a las dificultades de la recepción y envío de señales por medio de las paredes y la intensidad del Wi-Fi. Los cuales se corrigiendo con ubicación de las anclas, tag y reconfigurando los Routers.

En las diez pruebas realizadas para determinar el estado del adulto mayor que se muestra en la tabla 4.3 para el estado alerta de caída se tiene un error del 30%, que se debe a las posiciones semejantes a una caída, los cuales dan una alarma falsa, debido a la configuración de aceleración de corte del BNO055. Para el estado alerta de caída y caída confirmada da un porcentaje de aciertos válidos del 100%, esto se debe de igual manera a la configuración de aceleración de corte para la programación de los parámetros de caída.

RECOMENDACIONES

Se podría mejorar la precisión del sistema de triangulación para una localización más precisa del adulto mayor en caso de caída, mediante el aumento de anclas para los diferentes lugares de la residencia.

Realizar estudios ergonómicos adicionales para mejorar la comodidad del arnés y reducir posibles molestias para la persona adulta.

Recomendable incorporar tecnologías avanzadas, como inteligencia artificial, para mejorar el sistema de detección y notificación de caídas.

Capacitar al personal de las residencias de adultos mayores en el uso y manejo del sistema de detección de caídas, para asegurar una correcta implementación y uso de este.

LISTA DE REFERENCIAS

- A., V. A. (2020). *Electrónica*. Obtenido de <https://vasanza.blogspot.com/2021/07/especificaciones-del-modulo-esp32.html>
- Abril, G. M. (5 de Junio de 2022). Estudio y evaluación de algoritmos de procesamiento de datos inalámbricos para la estimación de la localización y ocupación en interiores. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/146651/3/ginesmoliTFM0622memoria.pdf>
- adafruit. (s.f.). *adafruit*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/2472>
- Aguirre, C. (2021). *blog.uelectronics.com*. Obtenido de uelectronics: <https://blog.uelectronics.com/tarjetas-desarrollo/arduino/como-cargar-los-comandos-at-al-modulo-iot-ga6/>
- ARDUINO. (5 de Febrero de 2018). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Asanza, V. (s.f.). *Electrónica*. Obtenido de <https://vasanza.blogspot.com/2021/07/especificaciones-del-modulo-esp32.html>
- Chariguamán, J. V. (2018). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4587>
- Chávez Shica, P. W. (2019). Desarrollo de Sistema de Orientación para Personas. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49972/Ch%c3%a1vez_SPW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CONSULTORS. (s.f.). *CONSULTORS*. Obtenido de <https://bconsultors.com/project/uwb-dwm1000/>
- Correa Garduño Alam, R. M. (Octubre de 2019). Detector de caídas con acelerómetro digital y aviso inmediato a red de contactos mediante módulo GSM. Obtenido de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/30389/tesis_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cruz, L. A. (Abril de 2023). Localización de vehículos aéreos no tripulados para la

- navegación en zonas sub-urbanas utilizando tecnología de banda ultra ancha. Obtenido de <https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/4318/SSIT0019347.pdf?sequence=1>
- Dam, R. D. (2022). . ESTADO DEL ARTE DEL DESARROLLO DE SISTEMAS EMBEBIDOS DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRADA ENTRE EL HARDWARE Y. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/284550286_Estado_del_arte_del_desarrollo_de_sistemas_embebidos_desde_una_perspectiva_integrada_entre_el_hardware_y_software
- Danbatta, S. J. (2019). "Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and bluetooth wireless technologies used in home automation.". Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8757472>
- Flores, F. (22 de Julio de 2022). *OpenWebinars*. Obtenido de <https://openwebinars.net/blog/que-es-visual-studio-code-y-que-ventajas-ofrece/>
- Francisco Crizul, G. G. (20 de Abril de 2021). Localización en interiores utilizando infraestructura de Internet de las Cosas. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12008/27962>
- Francisco Crizul, G. G. (20 de Abril de 2021). Localización en interiores utilizando infraestructura de Internet de las Cosas. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/27962/1/CG21.pdf>
- Garcilazo Zuloeta, K. C. (13 de Septiembre de 2021). Desarrollo de un sistema de identificación reprogramable de paletas en una línea de producción orientado a la educación de costos del proceso de trazabilidad mediante un dispositivo IoT en una embotelladora de la ciudad de Lima. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/657804/Garcilazo_ZK.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Gholamhosseini L, S. F. (2019). Sistema de localización en tiempo real del hospital. Obtenido de <https://sismart.es/wifi-vs-zigbee/>
- Guevara, D. G. (2017). Análisis Comparativo de la Tecnología Lifi: Comunicaciones por luz Visible con otras Tecnologías de Comunicación. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/16963/1/UG-FCMF-B-CINT-PTG-N.139.pdf>

- Huallpa, R. L. (2020). Prototipo para la detección de caídas en adultos mayores mediante arduino e IOT. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/27792/T-3694.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Izama, K. (2018). Sistema electrónico de alarma de caídas para adultos mayores del centro de cuidado del adulto mayor San Martín. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7395/3/ARTICULO.pdf>
- Kevin M. Overmann, D. T. (2 de Febrero de 2021). Real-time locating systems to improve healthcare delivery: A systematic review. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8661418/>
- Makerfabs. (2022). *Makerfabs*. Obtenido de <https://www.makerfabs.com/esp32-uwb-high-power-120m.html>
- Makerfabs. (2022). *Makerfabs*. Obtenido de <https://www.makerfabs.cc/article/esp32-uwb-indoor-positioning-test.html>
- Makerfabs. (s.f.). *Makerfabs*. Obtenido de <https://www.makerfabs.com/esp32-uwb-high-power-120m.html>
- Miriam Bella Beorlegui, N. E. (marzo de 2017). La prevención de caídas recurrentes en el paciente anciano. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2017000100006
- Navas Damas, M. (Febrero de 2023). ESTIMACIÓN DE POSICIÓN BASADA EN DEEP LEARNING CON SENSORES AMBIENTALES UWB Y DISPOSITIVOS MÓVILES. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10953.1/19943>
- Olivares, L. G. (2019). STUDY AND IMPLEMENTATION OF A FALL DETECTION SYSTEM BY MEANS OF AN ACCELEROMETER. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/139815/Gallego%20-%20ESTUDIO%20E%20IMPLEMENTACION%20DE%20UN%20SISTEMA%20DE%20DETECCION%20DE%20CAIDAS%20MEDIANTE%20EL%20USO%20DE%20UN%20ACE....pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- OMS. (26 de Abril de 2021). Caídas. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- Penchev Tanev, P. (2018). Diseño de un sistema de detección de accidentes. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/106855/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Polo, E. M. (2018). Técnicas de Localización en Redes Inalámbricas de Sensores. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/228705728_Tecnicas_de_Localizacion_en_Redес_Inalambricas_de_Sensores
- prometec.* (s.f.). Obtenido de [prometec.net](https://www.prometec.net/sim808/): <https://www.prometec.net/sim808/>
- Rodríguez, O. C. (24 de mayo de 2019). Demostración del Teorema de Pitágoras. Obtenido de <https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/603>
- Salim Jibrin Danbatta, A. V. (2019). Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and Bluetooth Wireless Technologies Used in Home Automation. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8757472>
- Sebastian Thiede, B. S. (26 de Noviembre de 2021). Real-time locating systems (RTLS) in future factories: technology review, morphology and application potentials. Obtenido de [https://pdf.sciencedirectassets.com/282173/1-s2.0-S2212827121X0011X/1-s2.0-S2212827121010118/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKL%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDd6mYSfHEW8najM8CKu5AJYyI85cN8V3p6UvZHlmZxmwIgeVAhu84tu353](https://pdf.sciencedirectassets.com/282173/1-s2.0-S2212827121X0011X/1-s2.0-S2212827121010118/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKL%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDd6mYSfHEW8najM8CKu5AJYyI85cN8V3p6UvZHlmZxmwIgeVAhu84tu353)
- Sebastián Thiedea, B. S. (2021). Real-time locating systems (RTLS) in future factories: technology review, morphology and application potentials. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121010118>
- SILVA, G. C. (Agosto de 2018). ANALISIS DE LA COEXISTENCIA DE REDES WI-FI Y SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO EN TIEMPO REAL PARA EL TRAFICO DE DATOS Y EL POSICIONAMIENTO DE OBJETOS. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9043/1/20T01078.pdf>
- Soto-Pedraza, P. (2021). Demostración de la Ley de Cosenos. Vida Científica Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 4,. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6632>
- Thiede, S. S. (2021). .Sistemas de localización en tiempo real (RTLS) en futuras fábricas: revisión de tecnología, morfología y potencialidades de aplicación. Obtenido de <https://research.utwente.nl/en/publications/real-time-locatingsystems-rtls-in-future-factories-technology-re>
- Townsend, K. (13 de Abril de 2023). Adafruit BNO055 Absolute Orientation Sensor. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor>

Tristán., G. d. (2019). Aplicación Móvil para el Monitoreo de Personas con Discapacidad Visual. Obtenido de <https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/4739/Aplicacion-Movil-Monitoreo-discapacidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

wolfelectronics. (2023). Obtenido de <https://wolfelectronics.net:https://wolfelectronics.net/products/modulo-gsm-sim-900>

Zafari, F. G. (2019). Una encuesta de sistemas de localización en interiores y Tecnologías. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/1709.01015.pdf>

ANEXOS

ANEXO1.Código del Programa de ubicación y detección de caídas

```
import { Component, OnInit } from '@angular/core';
import { FirebaseData, FirebaseService } from '../services/firebase.service';

@Component({
  selector: 'app-root',
  templateUrl: './app.component.html',
  styleUrls: ['./app.component.css'],
})
export class AppComponent implements OnInit {
  title = 'dulce-hogar';
  habitacionActual: string = '';
  data: FirebaseData = {
    confirmed: false,
    fallDetected: false,
    orientationFlat: false,
    tags: [],
    totalAcceleration: 0,
    wifi: [],
  };
  posX: number = 3;
  posY: number = 3;

  constructor(public firebaseService: FirebaseService) {}

  ngOnInit() {
    this.firebaseService.getFirebase().subscribe((r) => {
      this.data = r;
      console.log(
        '🔥 ~ file: app.component.ts:28 ~ AppComponent ~ this.firebaseService.getFirebase ~ r:',
        r
      );
      if (r.tags.length > 0) {
```

```

this.habitacionActual = 'Sala';
if (r.tags.length == 2) {
  [this.posX, this.posY] = this.tag_pos(
    r.tags[0].range,
    r.tags[1].range,
    6
  );
} else {
  if (r.tags[0].id == 1782) {
    this.posX = 6 - r.tags[0].range;
    this.posY = 3;
  } else {
    this.posX = r.tags[0].range;
    this.posY = 3;
  }
}
} else if (r.wifi.length > 0) {
  this.posX = 3;
  this.posY = 3;
  if (r.wifi.length == 2) {
    if (r.wifi[0].power > r.wifi[1].power) {
      this.habitacionActual = 'Domirtorio 1';
    } else {
      this.habitacionActual = 'Domirtorio 2';
    }
  } else {
    if (r.wifi[0].id == 'router1') {
      this.habitacionActual = 'Domirtorio 1';
    } else {
      this.habitacionActual = 'Domirtorio 2';
    }
  }
}

```

```

}
} else {
  this.habitacionActual = 'Sin Ubicación';
}
});
}

tag_pos(a: number, b: number, c: number): [number, number] {
  const cos_a = (b * b + c * c - a * a) / (2 * b * c);
  let x = b * cos_a;
  let y = b * Math.sqrt(1 - cos_a * cos_a);
  x = x < 0 ? 0 : x;
  y = y < 0 ? 0 : y;
  return [x, y];
}
}

```

ANEXO2.Instalación de anclas en la Residencia de Mi dulce Hogar



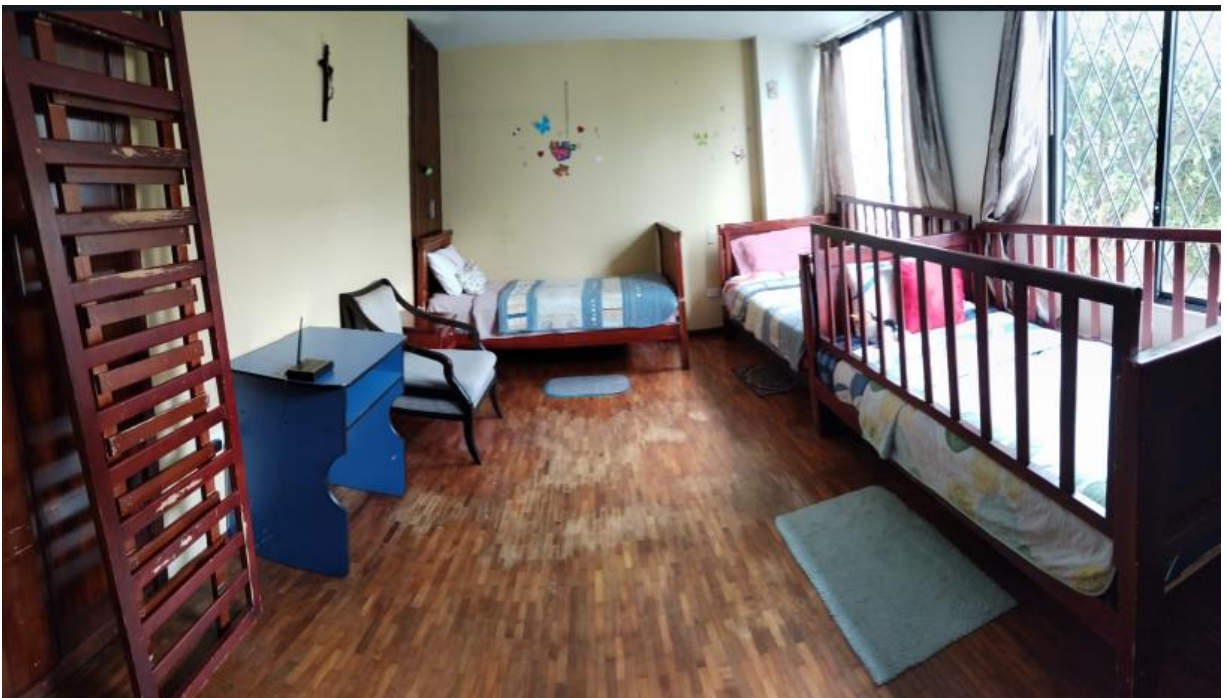
ANEXO 3. Instalación de routers en la Residencia de Mi dulce Hogar



ANEXO 4. Sala de la Residencia de Mi dulce Hogar



ANEXO 5. Dormitorio 1 de la Residencia de Mi dulce Hogar



ANEXO 6. Pasillo de dormitorios de la Residencia de Mi dulce Hogar



