

Diseño de un Sistema de Alerta Temprana para Personas con Discapacidad Auditiva en la
Universidad Industrial de Santander

Alfonso Daniel Sánchez Lemus, Edgar Fabián Jiménez Suárez

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Electrónica

Director

José David Cortés Torres

M. Sc. en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Jaime Guillermo Barrero Pérez

M. Sc. en Potencia Eléctrica

Asesoría:

Karen Yaneth Nevado

Trabajadora Social

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2025

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	12
1.1 Objetivo General	12
1.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Marco Conceptual.....	13
2.1. Discapacidad	13
2.2. Discapacidad Auditiva	13
2.2.1. Introducción	13
2.2.2. Definiciones	14
2.2.3. Tipos de Discapacidad Auditiva.	14
2.2.3.1 Clasificación por Grado de Pérdida Auditiva	15
2.2.3.2 Clasificación por Momento de Aparición.....	16
2.3 Lengua de Señas Colombiana.....	16
2.3.1 Introducción	16
2.4 ¿Qué es un Sistema de Alerta Temprana?	16
2.5 Clasificación de los Sistemas de Alerta Temprana.....	17
2.6 Tecnologías de Apoyo Actuales para Discapacidades Auditivas	17
2.7. Microcontroladores	18
2.8. Bases de Datos en la Nube.....	18
3. Antecedentes y Justificación.....	18

DISEÑO SISTEMA ALERTA TEMPRANA	3
3.1 Referencias internacionales	18
3.2 Referencias Nacionales	19
3.3 Referencias Institucionales	19
4. Diseño del Sistema.....	20
4.1 Consideraciones sobre los Tipos de Situaciones de Emergencia.....	20
4.2 Selección de Detección de Situación de Emergencia	21
4.3 Sistemas de Comunicación	21
4.4 Selección de Microcontrolador	23
4.5 Selección de Tipo de Sistema de Aviso	25
4.6 Diseño de la Aplicación	26
4.6.1 Opciones Tecnológicas para Backend y Bases de Datos	26
4.6.1.1 Supabase.	26
4.6.1.2 AWS Amplify.	26
4.6.1.3 MongoDB Atlas + Auth0.....	27
4.6.1.4 Parse Server.	27
4.6.1.5 Firebase.	27
4.6.2 Frontend	29
5. Propuesta de Solución.....	32
5.1 Población Objetivo.....	32
5.1.1 Caracterización de la Población.....	32
5.1.2 Tipo de Sondeo	32
5.1.3 Resultados del Sondeo	33
5.1.4 Criterios de Decisión.....	34

DISEÑO SISTEMA ALERTA TEMPRANA	4
5.2 Desarrollo del Circuito Esquemático	34
5.2.1 Sistema de alerta visual y sensitivo	34
5.2.2 Sistema de stop	35
5.2.3 Sistema de alimentación	35
5.3 Desarrollo y Modelación 3D del Circuito en PCB	36
5.4 Desarrollo de la Aplicación del Usuario y del Punto de Control.....	37
5.4.1 Descripción de la Interfaz	37
5.4.2 Interfaz de Entrada del Usuario	38
5.4.3 Interfaz de Entra del administrador.....	39
5.4.4 Conectividad Bluetooth – Smartphone	39
5.5 Consolidado	41
6. Conclusiones	42
6. Recomendaciones	43
Referencias.....	44
Apéndices.....	50

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Componentes del desarrollo del proyecto</i>	20
Figura 2. <i>Esquemático del circuito en EasyEDA</i>	36
Figura 3. <i>Diseño del PCB</i>	36
Figura 4. <i>Prototipo de manilla del proyecto DISALERT</i>	37
Figura 5. <i>Esquema del funcionamiento del sistema de alerta</i>	38
Figura 6. <i>Interfaz de usuario</i>	38
Figura 7. <i>Interfaz para enviar la alerta a los usuarios</i>	39
Figura 8. <i>Interfaz de escaneo de dispositivos por bluetooth</i>	40
Figura 9. <i>Interfaz de la conexión con el dispositivo enlazado</i>	41

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Tipos de discapacidad auditiva</i>	14
Tabla 2. <i>Clasificación por grado de discapacidad auditiva</i>	15
Tabla 3. <i>Clasificación por momento de aparición</i>	16
Tabla 4. <i>Tipos de clasificación de alertas tempranas</i>	17
Tabla 5. <i>Comparativa de tipos de comunicación</i>	22
Tabla 6. <i>Evaluación comparativa de microcontroladores</i>	24
Tabla 7. <i>Ventajas clave por microcontrolador</i>	24
Tabla 8. <i>Comparación de alternativas para el sistema de aviso</i>	25
Tabla 9. <i>Comparativa para bases de datos y frontend</i>	28
Tabla 10. <i>Comparativa de frontend</i>	30

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Drive</i>	50

Resumen

Título: Diseño de un Sistema de Alerta Temprana para Personas con Discapacidad Auditiva en la Universidad Industrial de Santander*

Autores: Alfonso Daniel Sánchez Lemus, Edgar Fabian Jiménez Suarez**

Palabras clave:**Descripción**

El proyecto de grado propuesto consiste en el desarrollo de un sistema de alerta diseñado específicamente para personas con discapacidad auditiva en un entorno universitario. Tiene como objetivo proporcionar una respuesta accesible y oportuna ante situaciones de emergencia, caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (Ley 1523 de 2012). Esto se realizará mediante el uso de señales luminosas y vibraciones para procurar un aviso pertinente ante eventos que sugieren una amenaza, como los sismos, aglomeraciones o disturbios asociados a actos malintencionados. Dicho sistema se compone de cuatro etapas principales, en primer lugar, la detección de emergencias, luego la implementación de un protocolo de comunicación eficiente para la transmisión de alertas, como tercera etapa el procesamiento de datos mediante un microcontrolador para análisis y almacenamiento, y finalmente, la activación de dispositivos de alerta, como luces y vibraciones, para notificar a las personas con discapacidad auditiva sobre la emergencia detectada. Este proyecto no solo aborda una necesidad crítica en términos de accesibilidad en entornos educativos, sino que también demuestra la aplicación efectiva de la tecnología para mejorar la seguridad y la inclusión de personas en condición de discapacidad auditiva en la comunidad universitaria, con potenciales usos o desarrollos de aplicaciones en otros contextos que requieran alertas accesibles y eficientes.

* Trabajo de grado

** Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: José David Cortés Torres, M. Sc. en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Jaime Guillermo Barrero Pérez, M. Sc. en Potencia Eléctrica. Asesoría: Karen Yaneth Nevado, Trabajadora Social

Abstract

Title: Design of an Early Warning System for People with Hearing Disabilities at the Industrial University of Santander*

Authors: Alfonso Daniel Sánchez Lemus, Edgar Fabian Jiménez Suarez**

Keywords:**Description**

The proposed undergraduate project consists of developing an alert system specifically designed for people with hearing disabilities in a university setting. Its objective is to provide an accessible and timely response to emergency situations—characterized by the intense and severe alteration or interruption of normal operating conditions of a community, caused by an adverse event or its imminence, which requires an immediate reaction and a coordinated response from State institutions, the media, and the community at large (Law 1523 of 2012, Colombia). This will be achieved through the use of light signals and vibrations to deliver pertinent warnings in the face of threats such as earthquakes, crowding, or disturbances associated with malicious acts. The system comprises four main stages: first, emergency detection; second, the implementation of an efficient communication protocol for transmitting alerts; third, data processing by a microcontroller for analysis and storage; and finally, activation of alert devices—such as lights and vibrations—to notify people with hearing disabilities about the detected emergency. This project not only addresses a critical accessibility need in educational environments but also demonstrates the effective application of technology to enhance safety and inclusion for people with hearing disabilities within the university community, with potential uses or further developments in other contexts that require accessible and efficient alert systems.

* Thesis

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic, and Telecommunications Engineering. Director: José David Cortés Torres, M.Sc. in Electrical Engineering. Co-director: Jaime Guillermo Barrero Pérez, M.Sc. in Electrical Power. Advisor: Karen Yaneth Nevado, Social Worker

Introducción

La oportunidad de prever y responder de forma apropiada ante situaciones de riesgo o de emergencia es de vital importancia, pues puede salvar la vida de las personas y reducir un posible daño físico o material. En Colombia e incluso en otros países, se enfrentan constantemente a riesgos, como terremotos, incendios, entre otras situaciones naturales. La relevancia de contar con sistemas de alerta temprana que sean accesibles es crucial, y no se debe subestimar su uso. Sin embargo, para sujetos de especial protección constitucional como las personas con discapacidad auditiva, las dificultades se ven representada en la recepción de información de las alertas tempranas de tipo sonoras.

El impacto de no lograr escuchar una alarma de incendio, una alerta sísmica o las indicaciones de manera verbal puede producir que las personas con discapacidad auditiva transiten por un estado de confusión e indefensión, siendo vulnerables a la exposición de alguna consecuencia negativa en gran forma, por lo cual están en riesgo adicional, circunstancia que no debería pasar. Este dilema compromete la seguridad y la integridad personal, evitando un proceder con independencia y priva, por tanto, la capacidad de ejercer el derecho a la información en situaciones de emergencias.

Las causas asociadas a esta problemática son variadas, desde la falta de tecnologías desarrolladas a partir del diseño universal para la población en situación de discapacidad hasta las barreras comunicativas. Al elaborar un Sistema de Alerta Temprana para personas en condición de discapacidad auditiva en la Universidad Industrial de Santander (UIS), no solo se busca mejorar la seguridad y el acceso a la información importante, sino que también se pretende contribuir a la creación de una comunidad más inclusiva y concienciada.

La situación objeto de estudio que se espera resolver cuando finalice este proyecto es dar un paso a la accesibilidad y la orientación efectiva en situaciones de emergencia para las personas con discapacidad auditiva en la UIS presentando posibles diseños para garantizar que esto suceda. El proyecto también procura marcar el primer paso en la UIS como institución de educación superior referente en el tema y más adelante se pudiera extender en otras partes de Colombia.

La creación de este tipo de sistema de alerta para personas en condición de discapacidad auditiva implica la exploración y la implementación de diversas tecnologías innovadoras. Se considera el uso de sensores de vibración y movimiento, dispositivos portátiles, aplicaciones móviles y plataformas de comunicación en tiempo real, ya que estos avances permitirán la detección precisa de eventos de emergencia, la generación de alertas visuales y táctiles, y la transmisión de información crítica de manera instantánea.

En resumen, la relevancia de contar con sistemas de alerta temprana accesibles no puede ser subestimada, ya que tienen el potencial de salvar vidas en situaciones de riesgo o emergencia, por lo que en este proyecto se aborda la problemática buscando mejorar la seguridad y el acceso a la información y fomentar acciones afirmativas e inclusivas que legitimen en la comunidad universitaria el derecho a estar informados a través de la transformación creativa de los espacios para la interacción comunicativa, reflejado en un diseño de alerta temprana para las personas en condición de discapacidad auditiva.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de un sistema de alertas tempranas en casos de emergencia para las personas en condición de discapacidad auditiva que pertenecen a la comunidad de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar un estudio de las necesidades de las personas en condición de discapacidad auditiva de la Universidad Industrial de Santander a través de encuestas o reuniones con el fin de caracterizar a la población para direccionar el tipo de apoyos que se debe realizar.

Diseñar un sistema de aviso para personas con discapacidad auditiva el cual utilice señales luminosas o vibraciones con el objetivo de advertir sobre unas situaciones como pueden ser alguna alteración en el orden del campus universitario y sismos, esto de una manera oportuna y accesible.

Definir un protocolo de comunicación el cual envíe una señal a través de un punto central el cual estará encargado de recibir información de posibles eventos que alteren el orden en el campus y de aquí se transmitirá dicha señal con el objetivo de advertir a las personas con discapacidad auditiva independientemente del lugar donde se encuentren.

Diseñar un sistema de procesamiento mediante un microcontrolador el cual cumpla con los estándares necesarios para que pueda recibir las señales del punto central ya establecido y junto a otros componentes avisen a la persona con discapacidad auditiva para que evacue de la zona de riesgo.

2. Marco Conceptual

2.1. Discapacidad

El concepto de discapacidad se fundamenta en normativas internacionales como la Declaración Universal de los Derechos Humanos (ONU, 1948), la Convención Interamericana para la Eliminación de la Discriminación contra las Personas con Discapacidad (OEA, 1999) y la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (ONU, 2006) (Normograma de Discapacidad, s. f.).

En Colombia, el Artículo 93 de la Constitución (1991) reconoce la prevalencia de estos tratados como parte del bloque de constitucionalidad. De ello se derivan normas como la Ley 1346 de 2009, que aprueba la Convención sobre Discapacidad, la Ley Estatutaria 1618 de 2013, que ordena el Registro de Localización y Caracterización de Personas con Discapacidad (RLCPD), y la Ley 1751 de 2015 sobre el derecho a la salud. La Resolución 1197 de 2024 regula el procedimiento de certificación de discapacidad y el RLCPD.

La Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF) de la OMS (2001) establece un marco para entender la relación entre salud, entorno y funcionamiento humano.

2.2. Discapacidad Auditiva

2.2.1. Introducción

La discapacidad auditiva es la pérdida parcial o total de la capacidad de oír, lo que afecta comunicación, lenguaje e interacción social. Esta sección aborda sus definiciones, tipos y grados, momento de aparición y el papel de la Lengua de Señas Colombiana (LSC), así como tecnologías de apoyo y sistemas de alerta.

2.2.2. Definiciones

La discapacidad auditiva se define como la pérdida de la capacidad para percibir sonidos en uno o ambos oídos, causada por alteraciones en el oído externo, medio, interno o en las vías nerviosas (ASHA, 2022; OMS, 2020). Al ser una condición invisible, su detección temprana es un reto y su impacto va más allá de lo biológico:

- Lenguaje: Dificulta la adquisición del habla en niños sin exposición a LSC.
- Comunicación: Limita conversaciones en entornos ruidosos.
- Interacción social: Puede llevar al aislamiento o exclusión laboral.

La OMS (2020) considera discapacitante la pérdida auditiva cuando supera los 35 dB de nivel de audición en el mejor oído. Esto exige soluciones inclusivas como señales visuales, táctiles o vibratorias para garantizar autonomía y seguridad (Punch & Hyde, 2011).

2.2.3. Tipos de Discapacidad Auditiva.

Tabla 1.

Tipos de discapacidad auditiva

Tipo	Causas	Características
Conductiva	Obstrucciones (cerumen), infecciones de oído medio, malformaciones.	Afecta la transmisión del sonido al oído interno. Suele ser reversible con tratamiento médico.
Neurosensorial	Daño en células ciliadas del oído interno o nervio auditivo (envejecimiento, exposición al ruido, genética).	Pérdida permanente. Dificultad para discriminar sonidos, especialmente con ruido de fondo
Mixta	Combinación de causas conductivas y neurosensoriales.	Requiere abordaje médico y audio protésico.

Tipo	Causas	Características
Procesamiento Auditivo Central	Alteración en el procesamiento cerebral del sonido	Dificultad para comprender el habla en ambientes ruidosos o diferenciar fonemas similares.

Nota. Adaptado de American Speech-Language-Hearing Association (2022), Ministerio de Salud y Protección Social (2020) y Organización Mundial de la Salud (2020).

2.2.3.1 Clasificación por Grado de Pérdida Auditiva

Tabla 2.

Clasificación por grado de discapacidad auditiva

Grado	Umbral (dB)	Impacto en la comunicación
Leve	21–40 dB	Dificultad con voces bajas o lejanas. Necesita repeticiones en conversaciones.
Moderada	41–70 dB	Requiere voz elevada o audífonos. Comprensión limitada sin apoyo visual.
Severa	71–90 dB	Solo percibe voces muy cercanas y fuertes. Depende de audífonos/implantes y lectura labial.
Profunda	91–119 dB	No percibe habla. Usa implantes cocleares o lengua de señas.
Cofosis	≥120 dB	Pérdida total. Comunicación principalmente visual o táctil.

Nota. Elaboración propia a partir de American Speech-Language-Hearing Association (2022) y Ministerio de Salud y Protección Social (2020).

2.2.3.2 Clasificación por Momento de Aparición

Tabla 3.

Clasificación por momento de aparición

Tipo	Descripción
Prelocutiva	Ocurre antes de adquirir el lenguaje oral. Afecta significativamente el desarrollo lingüístico.
Postlocutiva	Ocurre después de adquirir el lenguaje. Tiene mejor pronóstico comunicativo.

Nota. Adaptado de Ministerio de Salud y Protección Social (2020) y Organización Mundial de la Salud (2001).

2.3 Lengua de Señas Colombiana

2.3.1 Introducción

La Lengua de Señas Colombiana (LSC) es una lengua viso gestual con gramática propia, no derivada del español, fundamental para el desarrollo cognitivo y social en sordera profunda prelocutiva (OMS, 2023).

Elementos:

- Configuraciones manuales
- Movimientos y ubicación espacial
- Expresiones faciales y corporales
- Su uso es clave en sistemas de alerta visuales o vibrotáctiles.

2.4 ¿Qué es un Sistema de Alerta Temprana?

Un sistema de alerta temprana es un conjunto de procesos y tecnologías que detectan y comunican amenazas, permitiendo acciones preventivas (UNDRR, 2006).

2.5 Clasificación de los Sistemas de Alerta Temprana

Tabla 4.

Tipos de clasificación de alertas tempranas

Tipo de Clasificación	Subcategoría	Ejemplos
Por tipo de riesgo	Naturales	Sismos, tsunamis, huracanes
	Sanitarios	Epidemias
	Tecnológicos	Accidentes industriales
Por canal de alerta	Acústico	Sirenas
	Visual	Luces, pantallas
	Vibratorio	Dispositivos táctiles
	Multicanal	SMS, apps móviles
Por cobertura	Nacional	-
	Comunitario	-
	Individual/personal	-

Nota. Adaptado de UNDRR (2006).

2.6 Tecnologías de Apoyo Actuales para Discapacidades Auditivas

Las tecnologías inclusivas permiten que personas con discapacidad accedan a las alertas.

Entre las más utilizadas destacan (Hildebrandt & Wright, 2020; Jain, Singh & Kumar, 2021):

- Luces estroboscópicas y paneles visuales integrados con alarmas.
- Dispositivos vibrotáctiles, como relojes o bandas que vibran ante una emergencia.
- Aplicaciones móviles multicanal con notificaciones accesibles.
- Sistemas IoT domésticos que detectan incendios o gases y activan alarmas visuales y vibratorias.

2.7. Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados que combinan CPU, memoria y entradas/salidas, diseñados para tareas específicas como control de motores o lectura de sensores. Son clave en IoT y sistemas embebidos por su bajo consumo y tamaño reducido.

2.8. Bases de Datos en la Nube

Firestore facilita la creación y escalado de apps móviles/web, ofreciendo autenticación, base de datos en tiempo real y notificaciones push, esenciales para alertas instantáneas.

3. Antecedentes y Justificación

Este apartado resume estudios y proyectos tecnológicos dirigidos a mejorar la respuesta en emergencias de personas con discapacidad auditiva. Las fuentes incluyen IEEE, repositorios de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y portales especializados. Cuando no hubo antecedentes directos, se incluyeron iniciativas relacionadas.

3.1 Referencias internacionales

El artículo “Design of an Assistive Technology Wearable Vest for Persons with Hearing Disability” (Kumar et al., 2022) propone un chaleco portátil que convierte sonidos críticos en señales táctiles y visuales. Incorpora sensores acústicos (50 Hz–4 kHz), microcontrolador, motores vibratorios y LEDs de alta intensidad. Probado con 30 usuarios, redujo el tiempo de reacción en 78 % respecto a métodos convencionales, con alta aceptación por su ligereza (≤ 400 g) y autonomía de 12 h.

El estudio “Help the Deaf and Mute: A Mobile-Assisted App for Quick Emergency Reporting” (Nowak et al., 2018) desarrolla una app que permite reportar emergencias mediante

pictogramas, geolocalización y mensajería bidireccional con el servicio 112. Probada con 500 usuarios durante seis meses, redujo en 64 % el tiempo de atención y un tercio de los participantes indicó que sin la app no habría podido pedir ayuda.

La investigación “Home Security System for the Hearing Impaired” (Chen & O'Neil, 2025) evaluó sistemas de seguridad doméstica multisensorial (ADT, Cove, Vivint) con luces, vibración y notificaciones móviles. En 20 hogares, la combinación de canales logró 95 % de efectividad y 40 % menos falsas alarmas frente a sistemas sonoros. Dentro de la muestra, los autores señalan a Cove como una opción de menor costo relativo y por su alta efectividad.

3.2 Referencias Nacionales

En Colombia no se han documentado sistemas multisensoriales de alerta para esta población. Iniciativas como el Centro de Relevó (MinTIC–FENASCOL) facilitan comunicación en LSC e intermediación telefónica, pero no cubren emergencias físicas. Algunos proyectos universitarios han creado apps de traducción o apoyo comunicativo (Castellanos & Montes, 2021), sin enfocarse en situaciones de riesgo, lo que evidencia una brecha en soluciones de alerta inclusivas.

3.3 Referencias Institucionales

De igual forma, en la Universidad Industrial de Santander no se han desarrollado hasta el momento propuestas tecnológicas orientadas a la generación de alertas para personas con discapacidad auditiva. La presente iniciativa surge a partir de la gestión de la trabajadora social Karen Nevado, quien identificó la ausencia de mecanismos de apoyo dirigidos a esta población dentro del campus universitario. Aunque el número de personas con esta condición es reducido, la falta de soluciones inclusivas limita la posibilidad de ampliar la integración de estudiantes sordos, al exponerlos a riesgos significativos en situaciones de emergencia.

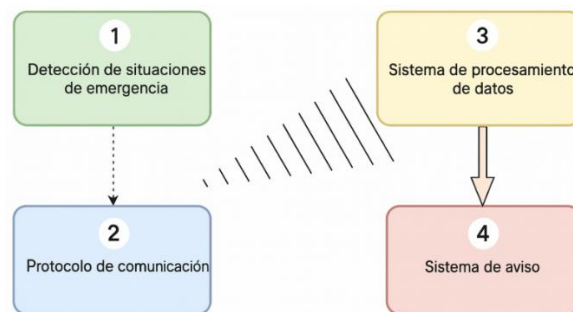
4. Diseño del Sistema

Para este proyecto se definió la implementación tras: (1) un estudio de emergencias frecuentes en la UIS que pueden generar miedo o pánico en personas con discapacidad auditiva; (2) un análisis de medios de comunicación viables dentro del campus que evitaran infraestructura adicional y costos; y (3) la evaluación de formas de aviso y del dispositivo de procesamiento, seleccionando un microcontrolador acorde a los requerimientos.

De ello se derivan cuatro componentes del sistema de alerta temprana: (1) detección de emergencias, (2) protocolo de comunicación, (3) procesamiento de datos y (4) sistema de aviso, integrados de forma coordinada, como se presenta en la Figura 1.

Figura 1.

Componentes del desarrollo del proyecto



4.1 Consideraciones sobre los Tipos de Situaciones de Emergencia

En bibliotecas y campus universitarios se presentan emergencias de origen natural (sismos, inundaciones, tormentas, deslizamientos) y tecnológico/accidental (incendios, fugas de gas, cortocircuitos, fallas de seguridad, derrames). También hay emergencias intencionales (amenazas, vandalismo, disturbios, robos, agresiones), que exigen protocolos específicos, y sanitarias (brotes o pandemias) con medidas de bioseguridad. Finalmente, las médicas individuales (desmayos, convulsiones, eventos cardíacos, etc.) requieren respuesta inmediata.

Identificar y comprender estos escenarios es clave para diseñar prevención, respuesta y comunicación inclusiva, con mecanismos visuales o sensoriales adecuados para personas con discapacidad auditiva.

4.2 Selección de Detección de Situación de Emergencia

Para el desarrollo de este proyecto, se seleccionaron dos tipos de emergencias que, a lo largo de los últimos años, se han presentado con mayor frecuencia dentro del campus universitario y que pueden afectar significativamente la cotidianidad de las personas en condición de discapacidad auditiva. Estas emergencias son los sismos y las alteraciones dentro del campus universitario o disturbios estudiantiles.

La elección de estas situaciones se realizó considerando tres criterios principales: la incidencia observada en el entorno universitario, el nivel de riesgo que representan para la integridad de la comunidad, especialmente para las personas con discapacidad auditiva, quienes pueden no percibir las alertas sonoras tradicionales, y la viabilidad técnica para implementarlas dentro de la fase de desarrollo del sistema. Estos eventos, además de ser los más representativos en el contexto de la Universidad Industrial de Santander, permiten validar la efectividad del sistema propuesto en escenarios reales y recurrentes.

Asimismo, se determinó que la forma más viable de detección, aunque implica cierto riesgo humano, es mediante un centro de control encargado de emitir las alertas correspondientes ante la ocurrencia de estas situaciones.

4.3 Sistemas de Comunicación

Se evaluaron las tecnologías Zigbee, LoRa, Sigfox, Wi-Fi y Bluetooth Low Energy (BLE) según su alcance, consumo energético, costo, requerimientos de infraestructura y fiabilidad en entornos interiores o urbanos. Los resultados de esta comparación se presentan en la Tabla 5, en

la cual se resume los principales atributos de cada alternativa. Para el parámetro de alcance, se utilizaron unidades métricas, y en el caso de la infraestructura, se especificaron los requisitos particulares de implementación.

Tabla 5.

Comparativa de tipos de comunicación

Tecnología	Alcance aprox.	Consumo energético	Costo de implementación	Requerimientos de infraestructura	Fiabilidad en entornos urbanos/interiores
Zigbee	10 – 100 m	Muy bajo	Bajo	Requiere red de malla o coordinador	Media
LoRa	1 – 5 km (urbano)	Muy bajo	Medio	Requiere gateway LoRaWAN o concentrador	Alta
Sigfox	3 – 10 km (urbano)	Muy bajo	Medio/Alto	Requiere cobertura de red Sigfox (operador)	Alta
Wi-Fi	30 – 100 m	Alto	Bajo si hay red disponible	Requiere red Wi-Fi existente	Media
BLE	1 – 50 m	Muy bajo	Bajo	Puede usarse directamente con smartphones	Media

En este proyecto se tomó la decisión de utilizar Wi-Fi y Bluetooth Low Energy (BLE) como medios de comunicación. Esta elección se fundamentó en que otras tecnologías necesitan adecuaciones de infraestructura o son más costosa, considerando que la probabilidad de implementar cambios estructurales dentro del campus universitario es relativamente baja, se optó

por soluciones que no implicaran dichos ajustes. Además, tanto Wi-Fi como BLE ofrecen compatibilidad con dispositivos móviles, lo cual facilita su integración en el desarrollo de una de las principales ideas del proyecto: la interacción directa con smartphones como parte del sistema de comunicación y alerta.

4.4 Selección de Microcontrolador

Durante el proceso de diseño del sistema se consideraron múltiples alternativas de microcontroladores, cada una con características particulares. Las opciones analizadas fueron: ESP32-WROOM-32D, ESP32-C3 XIAO, ESP8266, nRF52840 y STM32WB55. Aunque todas cumplen funciones similares, no todas resultan igualmente adecuadas para el caso de uso propuesto.

Para realizar una elección informada se definieron criterios técnicos y prácticos alineados con un dispositivo portátil alimentado por batería: tamaño/huella física (priorizando módulos compactos que simplifiquen el diseño del PCB), disponibilidad en el mercado y facilidad de desarrollo, entendida como la madurez del ecosistema: documentación oficial clara, ejemplos y librerías mantenidas, además de foros y comunidad activa para la resolución ágil de incidencias. Con base en estos criterios se compararon las alternativas, priorizando el mejor equilibrio entre compacidad, autonomía y soporte de desarrollo.

A continuación, en la Tabla 6 presenta la comparación de los microcontroladores evaluados según estos criterios, mientras que la Tabla 7 resume las ventajas clave identificadas en cada uno de ellos. Con base en el análisis conjunto de ambas tablas, se priorizó el mejor equilibrio entre compacidad, autonomía y soporte de desarrollo.

Tabla 6.*Evaluación comparativa de microcontroladores*

Microcontrolador	Consumo energético	Pines para batería	Conectividad	Dimensiones (mm)	Costo estimado (USD)	Facilidad de desarrollo
ESP32-WROOM-32D	~160 mA	No	WiFi + BLE 4.2	18 × 25.5 (módulo)	3–6	Alta
ESP32-C3 XIAO	~80 mA	Sí (VBAT, GND)	WiFi + BLE 5.0	21 × 17.5	4–6	Media
ESP8266 (ESP-12E)	~70–90 mA	No	Solo WiFi	24 × 16 (módulo)	2–4	Alta
nRF52840	~5 mA	No	BLE 5.0, no WiFi	23 × 17 (módulo)	8–12	Media
STM32WB55	~10 mA	No	BLE 5.0, no WiFi	~40 × 30 (placa Nucleo)	10–15	Baja

Tabla 7.*Ventajas clave por microcontrolador*

Microcontrolador	Ventajas principales
ESP32-WROOM-32D	Alto soporte comunitario, doble núcleo
ESP32-C3 XIAO	Tamaño ultra compacto, bajo consumo, pines VBAT/GND integrados, BLE 5.0, USB-C
ESP8266	Muy económico, amplio soporte comunitario, ideal para tareas WiFi simples
nRF52840	Excelente eficiencia energética, ideal para BLE, soporta Thread y Zigbee
STM32WB55	Procesador potente, ideal para aplicaciones industriales con BLE avanzado

Se descartó ESP8266 por ausencia de Bluetooth y nRF52840/STM32WB55 por costo. Entre ESP32-WROOM-32D y ESP32-C3 XIAO, se seleccionó ESP32-C3 XIAO por su factor de forma reducido (21×17,5 mm), consumo optimizado (~80 mA activo) y pines VBAT/GND integrados, lo que simplifica la alimentación y favorece un diseño embebido más compacto y eficiente.

4.5 Selección de Tipo de Sistema de Aviso

Se analizaron tres alternativas: aplicación móvil + manilla (vibración/LED), adaptación del alumbrado y app para smartwatch, inspiradas en trabajos previos (Acero Soria et al., 2018; Planells Alba, 2017). Los criterios incluyeron viabilidad técnica, costo, intervención sobre infraestructura, eficacia de la señal y portabilidad.

Tabla 8.

Comparación de alternativas para el sistema de aviso

Opción	Viabilidad técnica	Costo estimado	Intervención infraestructura	Eficacia de alerta	Portabilidad
App móvil + Manilla	Alta	Media	Nula	Alta	Alta
Adaptación alumbrado universitario	Baja	Alta	Alta	Media	Nula
App para smartwatch	Media	Media-Alta	Nula	Media-Alta	Alta

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 8, la opción seleccionada fue el desarrollo de una aplicación móvil vinculada a una manilla con sistema de vibración y alerta luminosa mediante LED. Esta alternativa destacó por su alta viabilidad técnica, no requerir intervención sobre la infraestructura existente, y su eficacia en la entrega de alertas de forma oportuna.

En comparación, la propuesta de adaptar el alumbrado universitario fue descartada debido a las limitaciones logísticas y estructurales que conlleva intervenir instalaciones institucionales, lo cual la hacía poco factible en términos de implementación real. Por otro lado, aunque la programación de la app para smartwatch ofrecía cierta portabilidad, su desarrollo implica desafíos técnicos, ya que dependiendo del tipo de smartwatch debería de ser diferente su programación, así como costos más elevados.

4.6 Diseño de la Aplicación

4.6.1 Opciones Tecnológicas para Backend y Bases de Datos

La elección de la plataforma backend es fundamental para garantizar la latencia baja, la escalabilidad y la confiabilidad del sistema de alerta. Se evaluaron las siguientes opciones:

4.6.1.1 Supabase. Plataforma open-source basada en PostgreSQL, que ofrece control total de los datos y despliegue en infraestructura propia o en la nube. Es adecuada para proyectos que requieren flexibilidad en consultas SQL, aunque su configuración exige mayor conocimiento técnico y su ecosistema móvil es menos robusto, lo que puede extender los tiempos de desarrollo.

4.6.1.2 AWS Amplify. Conjunto de servicios de Amazon que incluye autenticación, API GraphQL y almacenamiento NoSQL. Es altamente escalable y confiable, ideal para proyectos de gran envergadura, pero presenta curva de aprendizaje pronunciada y costos variables que pueden crecer con el uso.

4.6.1.3 MongoDB Atlas + Auth0. Ofrece una base de datos NoSQL distribuida y autenticación segura con MFA y protocolos modernos. Es muy flexible para manejar datos no estructurados, pero requiere administrar dos proveedores diferentes, aumentando la complejidad de mantenimiento.

4.6.1.4 Parse Server. Solución de código abierto que brinda autonomía y alto nivel de personalización en el backend. Es útil en entornos de investigación, pero implica mantenimiento técnico constante y documentación menos extensa que las plataformas comerciales.

4.6.1.5 Firebase. Ecosistema de Google que integra autenticación, base de datos en tiempo real y mensajería push. Destaca por su implementación sencilla, documentación extensa y entrega de notificaciones en <200 ms.

Aunque depende del ecosistema de Google y tiene menor flexibilidad en consultas complejas, su integración con Android y su escalabilidad automática la convierten en la opción óptima para este proyecto.

En la Tabla 9 se presenta un resumen de las plataformas evaluadas junto con los criterios considerados para cada una de ellas: notificaciones en tiempo real, escalabilidad, facilidad de implementación y costo inicial. Esta comparación permitió establecer una base sólida para la selección de la tecnología más adecuada al contexto del proyecto.

Tabla 9.

Comparativa para bases de datos y frontend

Plataforma	Notificaciones en Tiempo Real	Escalabilidad	Facilidad de Implementación	Costo Inicial
Supabase	WebSockets básicos (latencia >500 ms). Requiere configuración manual de canales.	Escalado manual en planes avanzados. Límite de 100k conexiones simultáneas .	Compleja: necesita conocimiento de PostgreSQL y API REST .	Gratis (hasta 500 MB) / \$25+ al escalar .
AWS Amplify	GraphQL Subscriptions (latencia ~300 ms). Configuración en AWS AppSync.	Auto-escalado ilimitado con DynamoDB. Ideal para millones de usuarios .	Alta curva: requiere dominio de AWS (Cognito, IAM) .	Gratis (limitado) / Costos variables impredecibles .
MongoDB + Auth0	WebSockets manuales (latencia >1s). Sin integración nativa entre servicios.	Escalado vertical en clusters pagos. Límites en Atlas M0 (512 MB RAM) .	Muy compleja: integración entre dos plataformas independientes .	Gratis (512 MB + 7k usuarios) / >\$0.03 por usuario adicional .
Parse Server	WebSockets básicos (latencia variable). Depende de la infraestructura propia .	Escalado manual (depende del servidor). Inviabile para alto tráfico sin DevOps dedicado.	Más compleja: autohospedaje, mantenimiento de servidores .	Gratis (pero + costos de hosting/servidor) .

Plataforma	Notificaciones en Tiempo Real	Escalabilidad	Facilidad de Implementación	Costo Inicial
Firebase	Cloud Messaging nativo (latencia <200 ms). Entrega priorizada en Android/iOS sin configuración .	Auto-escalado sin límites. Optimizado para picos de tráfico (ej: alertas masivas) .	Muy simple: SDKs plug-and-play, documentación paso a paso .	Gratis (1 GB DB + 10 GB hosting) / \$0.06 por GB extra .

Nota: Datos obtenidos de la documentación oficial de las plataformas Firebase, Supabase, AWS Amplify, MongoDB Atlas y Parse Server (Google, Supabase Inc., Amazon Web Services, MongoDB Inc. y Parse Platform, 2024). Elaboración propia.

Con base en esta comparación, Firebase fue seleccionada por su equilibrio entre facilidad de implementación, soporte para prototipado rápido y confiabilidad en notificaciones en tiempo real, características críticas para el desarrollo de un sistema de alerta temprana.

4.6.2 Frontend

Para el desarrollo de la aplicación móvil se analizaron distintas alternativas en función de rendimiento, integración con backend, curva de aprendizaje y mantenibilidad:

- Kotlin (nativo): máximo rendimiento y acceso a todas las APIs de Android, pero limitado a esta plataforma y con tiempos de desarrollo mayores.
- Java (nativo): altamente compatible y estable, pero menos eficiente en términos de productividad y sin características modernas como null-safety.
- React Native: permite reutilizar hasta un 90 % del código entre Android e iOS; ofrece rapidez de desarrollo, aunque con menor rendimiento que soluciones nativas.
- .NET MAUI: orientado a entornos corporativos con infraestructura Microsoft; requiere mayor curva de aprendizaje y tiene comunidad más pequeña.

- Flutter: framework de Google con hot reload, interfaces personalizables y excelente integración con Firebase. Su rendimiento es cercano al nativo y facilita el desarrollo iterativo, aunque genera aplicaciones de mayor tamaño inicial.

Con el propósito de definir la tecnología más adecuada para el desarrollo del frontend de la aplicación móvil, se evaluaron diferentes alternativas de entornos de programación y frameworks modernos. La comparación consideró factores como el tipo de desarrollo (nativo o multiplataforma), las ventajas funcionales y las limitaciones técnicas de cada opción, especialmente en términos de rendimiento, compatibilidad y facilidad de integración con los servicios backend. Los resultados de esta evaluación se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10.

Comparativa de frontend

Tecnología	Tipo	Ventajas	Limitaciones
Kotlin	Nativo Android	Máximo rendimiento al compilarse en código nativo. Acceso completo a todas las funciones del dispositivo. Integración directa con Firebase.	Solo para Android (no multiplataforma). Mayor tiempo de desarrollo en comparación con frameworks modernos.
Java	Nativo Android	Amplia documentación y comunidad. Compatible con dispositivos Android antiguos. Soporte probado y estable.	Código más extenso y complejo. Menor productividad frente a frameworks modernos.
React Native	Multiplataforma	Reutilización de hasta 90% del código entre Android e iOS.	Rendimiento inferior al nativo. Dependencia de módulos externos para funciones avanzadas.

Tecnología	Tipo	Ventajas	Limitaciones
		Ideal para equipos con experiencia web. Comunidad activa y muchos paquetes.	
.NET MAUI	Multiplataforma	Integración con servicios Azure y SQL. Interfaz adaptable a diferentes dispositivos. Posibilidad de compartir lógica entre plataformas.	Comunidad pequeña en comparación con Flutter. Curva de aprendizaje alta para desarrolladores sin experiencia en C#.
Flutter	Multiplataforma (optimizado para Android)	Interfaces modernas y personalizables. Integración nativa con Firebase. Alta productividad con “hot reload” y widgets.- Excelente documentación y comunidad creciente.	Tamaño inicial elevado de la app. Requiere permisos y equipo Mac para despliegue en iOS.

Considerando que el sistema se enfocará en dispositivos Android y necesita integración directa con Firebase, Flutter fue seleccionado por su agilidad de desarrollo, documentación extensa y compatibilidad nativa, ofreciendo la mejor relación entre desempeño, escalabilidad y experiencia de usuario.

5. Propuesta de Solución

5.1 Población Objetivo

5.1.1 Caracterización de la Población

De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (CNPV 2018), en el módulo de funcionamiento humano se registra la dificultad para oír (oír la voz o los sonidos) como una de las limitaciones que impactan el desempeño cotidiano (DANE, 2019).

De modo que la garantía de contextos accesibles y el avance hacia el diseño de un sistema de alertas tempranas para personas en situación de discapacidad auditiva, como estrategia preventiva ante situaciones de riesgo, se alinea en el ámbito institucional con la Política de Educación Inclusiva para Aspirantes, Estudiantes y Graduados de la Universidad Industrial de Santander (Acuerdo 032 de 2019), en sus dimensiones espacial y administrativa, actuando conjuntamente en la prevención y promoción de acciones afirmativas a partir de dispositivos de asistencia para la comunicación, que incrementan en las personas la toma de decisiones informadas (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020, p. 11).

5.1.2 Tipo de Sondeo

Con el propósito de obtener un panorama preliminar sobre la manera en que las personas con discapacidad auditiva reaccionan ante situaciones de alerta temprana, se realizó un sondeo exploratorio con algunos integrantes de la comunidad sorda. Este ejercicio, de carácter no sistemático, se llevó a cabo como primer acercamiento para identificar prácticas, percepciones y posibles limitaciones en el acceso a la información durante emergencias.

El sondeo se desarrolló mediante conversaciones para la recolección básica de datos, contando con la participación voluntaria de personas sordas de distintos perfiles comunicativos.

Dado su alcance limitado, los resultados no permiten generalizaciones, pero sí ofrecen elementos iniciales que podrían orientar futuras investigaciones o acciones más formales en este campo.

Esta aproximación preliminar permite identificar las condiciones actuales de accesibilidad en situaciones de riesgo y evaluar en qué medida los sistemas de alerta existentes son comprendidos y atendidos por las personas con discapacidad auditiva.

5.1.3 Resultados del Sondeo

El análisis de los datos recopilados muestra que la mayoría de las personas con discapacidad auditiva reciben alertas de emergencia principalmente a través de notificaciones en el celular (3 casos), seguidas por avisos de familiares o vecinos y alertas visuales como luces o carteles (2 casos cada uno). Solo una persona indicó no recibir información.

En cuanto a los recursos que utilizan en una emergencia, cinco participantes indicaron usar aplicaciones móviles, mientras que otros mencionaron ayuda de familiares, teléfonos de emergencia o no contar con recursos. El tipo de alerta considerada más útil fue la visual (luces, pantallas), mencionada por cinco personas, seguida por opciones como alertas vibratorias, mensajes de texto o combinaciones de varios métodos.

Respecto al conocimiento de tecnologías específicas para emergencias dirigidas a personas con discapacidad auditiva, solo una persona afirmó conocer alguna, mencionando las notificaciones anticipadas de Google. La mayoría no conocía ninguna tecnología de este tipo. Esto sugiere una baja difusión o accesibilidad de herramientas especializadas en este contexto.

Las personas con discapacidad auditiva suelen gestionar las alertas de emergencia mediante notificaciones en el celular, señales visuales como luces o pantallas, y avisos de su red cercana (familiares o vecinos). Los dispositivos más utilizados son los teléfonos móviles con aplicaciones que emiten alertas visuales o vibraciones. Las alertas visuales son percibidas como las más

efectivas, lo que resalta la necesidad de integrar este tipo de señalización en los sistemas de emergencia.

5.1.4 Criterios de Decisión

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización poblacional de personas con discapacidad auditiva, se tomó la decisión de diseñar un dispositivo que utilice notificaciones a través del celular, las cuales serán transmitidas mediante una manilla conectada por Bluetooth. Esta elección se fundamenta en que la mayoría de los participantes señalaron las notificaciones en el celular como el medio más común y accesible para enterarse de situaciones de emergencia. Además, las alertas visuales y las señales vibratorias fueron identificadas como las más útiles y efectivas por esta población.

5.2 Desarrollo del Circuito Esquemático

El diseño del circuito fue realizado en EasyEDA Pro por su versatilidad y amplia gama de librerías para los componentes electrónicos, el desarrollo del circuito fue planteado para ocupar un espacio reducido, por lo que las dimensiones físicas de los componentes constituyeron un factor determinante en su selección. Se eligió el microcontrolador ESP32-C3 XIAO, debido a su tamaño compacto y sus capacidades de comunicación integradas, como Wi-Fi y Bluetooth Low Energy.

El sistema de aviso del proyecto se compone de tres secciones principales, distribuidas usando un sistema de alerta visual y sensitivo compuesto por un motor vibrador y un led, un sistema de stop compuesto por pulsador para que al obtener la alerta y salir de la emergencia el usuario pueda detener el sistema de alerta sin apagar la manilla y un sistema de alimentación compuesto por batería de litio y un switch que estará a cargo de encender y apagar la manilla.

5.2.1 Sistema de alerta visual y sensitivo

Esta sección se divide en dos componentes de salida: un motor vibrador y un LED.

- El motor vibrador está conectado a la salida de 3.3 V del microcontrolador. Su otro terminal se conecta al emisor de un transistor BJT 2N2222. Entre los pines emisor y colector del BJT se incorpora un diodo 1N4001 como protección. La base del transistor se conecta a través de una resistencia de 1 k Ω al pin GPIO5 del microcontrolador.
- El LED está conectado al pin GPIO10, con una resistencia limitadora de 220 Ω en serie para proteger el componente de sobre corriente.

5.2.2 Sistema de stop

Consiste en un pulsador conectado al microcontrolador. Para evitar señales flotantes, se coloca una resistencia en paralelo entre GND y uno de los terminales del pulsador. De esta manera, al presionar el botón, se interrumpe la señal de alerta de forma controlada.

5.2.3 Sistema de alimentación

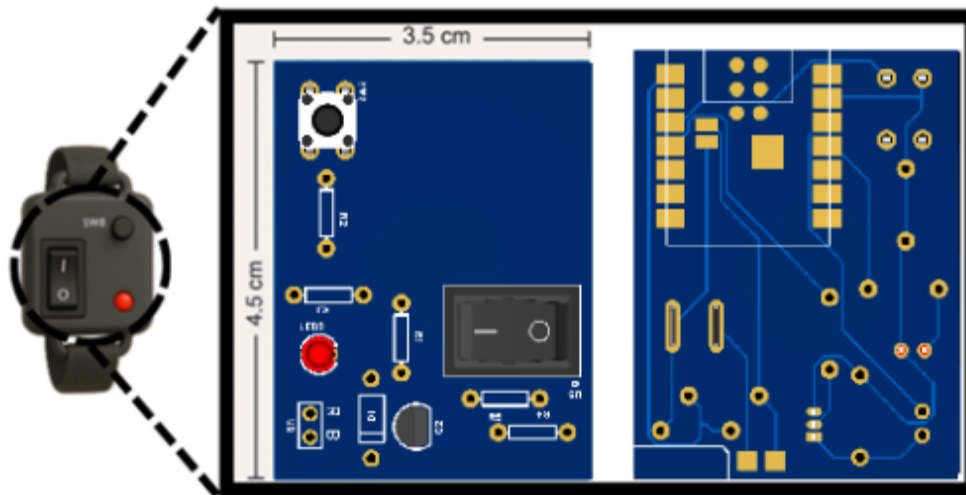
Se alimenta mediante una batería de litio de 3.7 V y 500 mAh, conectada a los pines de alimentación del microcontrolador. Entre el terminal positivo de la batería y el microcontrolador se incorpora un interruptor, con el fin de encender o apagar el sistema de manera manual a su vez se conecta dos resistencias para formar un divisor de tensión y conectarlo al pin A0 de la ESP32-C3 para medir su tensión y que se vea en la aplicación.

La disposición de estas conexiones y componentes puede observarse en el esquema electrónico de la Figura 2:

Luego de eso se procedió a realizar un modelado 3D de la PCB con ayuda de las librerías dadas por EasyEDA, como a su vez una idealización de la forma final de la manilla, esto se puede observar en la Figura 4.

Figura 4.

Prototipo de manilla del proyecto DISALERT



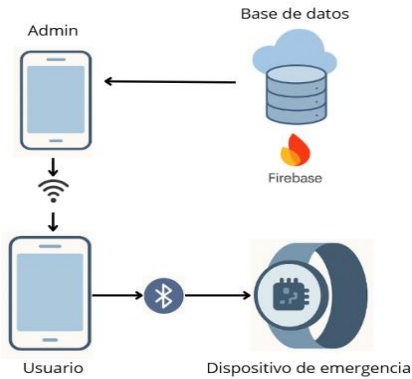
5.4 Desarrollo de la Aplicación del Usuario y del Punto de Control

5.4.1 Descripción de la Interfaz

El funcionamiento del ecosistema propuesto como se muestra en la Figura 5, donde se representan los componentes y su interacción. En primer lugar, se establece una base de datos previamente configurada para la gestión de los usuarios registrados. Posteriormente, la aplicación denominada “**admin**”, encargada de generar las alertas, envía una señal a todos los dispositivos asociados a las cuentas activas. Esta señal se transmite mediante una notificación push, la cual, al ser recibida en el dispositivo móvil del usuario, se reenvía a través de conexión Bluetooth hacia la manilla inteligente, que responde mediante vibración y el parpadeo del LED integrado.

Figura 5.

Esquema del funcionamiento del sistema de alerta



5.4.2 Interfaz de Entrada del Usuario

Para acceder a la aplicación, el usuario debe ingresar un correo electrónico y una contraseña previamente asignados. En la Figura 6 se muestra la interfaz de inicio de sesión, donde se visualizan los campos correspondientes para el ingreso de estas credenciales.

Estas credenciales no son generadas directamente por el usuario, sino que son gestionadas desde la base de datos en Firebase, mediante el microservicio Authentication, encargado de la administración segura de usuarios y del control de accesos dentro del sistema.

Figura 6.

Interfaz de usuario

La imagen muestra una captura de pantalla de un teléfono móvil con la interfaz de inicio de sesión. La barra superior azul contiene el tiempo (7:24), un icono de reloj, el nivel de batería (2.00), el nivel de señal y el nivel de Wi-Fi. El título 'Login Page' está centrado en la barra azul. Debajo, hay dos campos de entrada con el texto 'Email' y 'Password' respectivamente. En la parte inferior, hay un botón redondeado con el texto 'Login'.

5.4.3 Interfaz de Entra del administrador

La Figura 7 presenta la interfaz destinada al administrador del sistema, desde la cual es posible enviar notificaciones de alerta a los usuarios registrados. Para acceder a esta interfaz únicamente se requiere disponer de la aplicación en formato APK, ya que no se solicita autenticación mediante usuario o contraseña.

En esta pantalla se ofrecen dos opciones principales de alerta: “Enviar alerta de sismo” y “Enviar alerta de alteración dentro del campus”, las cuales permiten seleccionar el tipo de notificación que será transmitida al ecosistema del sistema de alerta temprana.

Figura 7.

Interfaz para enviar la alerta a los usuarios



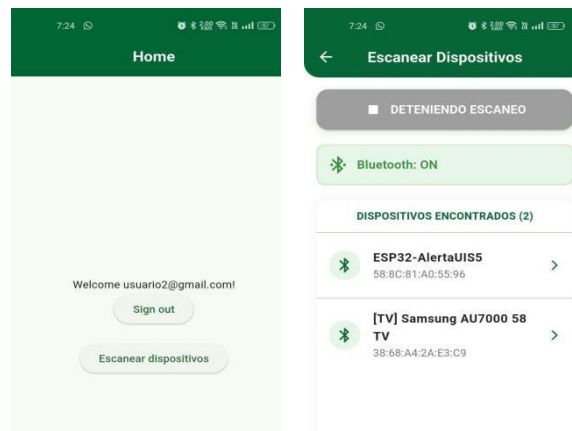
5.4.4 Conectividad Bluetooth – Smartphone

La Figura 8 muestra la interfaz de la aplicación correspondiente al proceso de escaneo y vinculación de dispositivos mediante Bluetooth. Una vez el usuario completa el proceso de autenticación, se despliega una pantalla principal que ofrece dos opciones: iniciar el escaneo de dispositivos mediante tecnología Bluetooth Low Energy (BLE) o cerrar sesión en caso de no desear recibir notificaciones.

Al seleccionar la opción “Escanear dispositivos”, el sistema redirige a una nueva interfaz que lista los dispositivos cercanos disponibles para la conexión. En este proyecto, el dispositivo configurado para la vinculación ha sido identificado con el nombre ESP32-AlertaUIS5, permitiendo establecer la comunicación entre el smartphone y la manilla inteligente del sistema de alerta temprana.

Figura 8.

Interfaz de escaneo de dispositivos por bluetooth



Finalmente, una vez establecida la conexión Bluetooth de manera exitosa, el sistema redirige al usuario a una pantalla de confirmación donde se indica el estado de la conexión y se visualiza el nivel de batería del dispositivo emparejado justo como se observa en la Figura 9. Esta funcionalidad permite verificar la operatividad del sistema y anticipar posibles interrupciones por falta de carga en el dispositivo.

Figura 9.

Interfaz de la conexión con el dispositivo enlazado

**5.5 Consolidado**

El sistema desarrollado consta de dos secciones complementarias que trabajan de manera integrada:

- **Aplicación móvil:** permite la interacción con el usuario, gestionando el envío de mensajes o notificaciones hacia el dispositivo portátil. Esta aplicación constituye la interfaz principal, garantizando la accesibilidad y facilidad de uso.
- **Manilla inteligente:** recibe la señal transmitida por la aplicación y la traduce en estímulos sensitivos (vibración) y lumínicos (encendido de un LED). De esta forma, el usuario obtiene una retroalimentación clara e inmediata, incluso en contextos donde las señales auditivas no resulten prácticas o posibles.

En conjunto, ambas secciones conforman un sistema accesible, eficiente y orientado a brindar alertas oportunas, combinando la comunicación móvil con un dispositivo portátil de fácil uso.

6. Conclusiones

Se ha completado el diseño de un sistema de alerta temprana para personas con discapacidad auditiva, que incorpora un sistema de aviso mediante vibración, utilizando un motor vibrador y señalización visual mediante LEDs.

Las pruebas desarrolladas a través de la aplicación han demostrado una transmisión efectiva de las alertas críticas en la UIS Universidad Industrial de Santander, abordando así una necesidad crucial para una población cuyo número es menor frente al resto del estudiantado, minoritaria en nuestra universidad, pero que también puede beneficiar a los demás integrantes de la comunidad universitaria.

Uno de los aspectos en el desarrollo del diseño fue la búsqueda de la integración para que de todo el sistema tuviera un tamaño compacto para su portabilidad por el usuario, basado en los diseños y componentes que se seleccionaron, por lo que dicho sistema cumple estas características.

La combinación de tecnologías de conectividad (Wi-Fi y Bluetooth) y la implementación de una gestión energética optimizada garantizan que el sistema sea fiable y pueda funcionar durante períodos prolongados sin necesidad de recarga frecuente. Además, el uso de materiales sostenibles y un diseño modular contribuyen a la durabilidad del dispositivo, haciéndolo tanto fácil de mantener como amigable con el medio ambiente.

En definitiva, este proyecto ha cumplido de manera efectiva con los objetivos propuestos, garantizando que las personas con discapacidad auditiva puedan integrarse en entornos que reducen las barreras comunicativas y aumentan su autonomía en la toma de decisiones ante situaciones de riesgo, gracias a la implementación de alertas tempranas.

6. Recomendaciones

- Se recomienda que el sistema pueda ser implementado tanto en dispositivos Android como en iOS. Si bien el framework **Flutter** facilita el desarrollo multiplataforma al permitir que una misma base de código se ejecute en ambos sistemas operativos, en el caso de iOS es necesario gestionar permisos específicos para garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación. La adecuada configuración de dichos permisos no solo asegura la operatividad del sistema, sino que también evita posibles interferencias con las políticas de seguridad y accesibilidad propias de la plataforma.

- Actualmente, el sistema funciona de manera autónoma; sin embargo, un reto pendiente sería la conexión directa con la red de alarmas institucionales y los protocolos oficiales de seguridad de la universidad. Esto permitiría que las alertas se activaran de forma automática ante emergencias confirmadas, reduciendo la dependencia de la intervención manual.

- En el proyecto actual, la detección de emergencias depende de las señales recibidas; en futuros desarrollos se podría integrar **IA para análisis de patrones en tiempo real**, como reconocimiento de sonidos fuertes (explosiones, alarmas, gritos) o datos de sensores sísmicos.

- Involucrar investigadores de áreas como psicología, diseño industrial y trabajo social podría enriquecer la usabilidad y aceptación del sistema. También, alianzas con empresas tecnológicas permitirían escalar el proyecto a nivel comercial.

- Un aspecto clave pendiente es el diseño de un módulo de retroalimentación donde los usuarios puedan reportar fallas, sugerir mejoras o confirmar la recepción de alertas.

Referencias

- Acero Soria, J.M., Flores Prieto, A., Herrada Rivera, A.L., & Saccsara Torres, M.L. (2018, febrero 19). *Pulseras Securelet* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <https://doi.org/10.19083/tesis/624063>
- Al Saadi, A.A., Canlas, F.Q., & Al Harthy, M.S. (2024). Help the Deaf and Mute: A Mobile-Assisted App for Quick Emergency Reporting. En *Proceedings of the 2024 International Conference on Expert Clouds and Applications (ICOECA)* (pp. 536–540).
- American Speech-Language-Hearing Association. (2022). *Degree of hearing loss*. <https://www.asha.org>
- Auth0. (2024). *Auth0 documentation*. <https://auth0.com/docs>
- Calgaro, E., Craig, N., Craig, L., Dominey-Howes, D., & Allen, J. (2021). Silent no more: Identifying and breaking through the barriers that d/Deaf people face in responding to hazards and disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 57, 102153. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102153>
- CBM. (s.f.). *Sistema de alerta temprana*. HHoT. Recuperado de <https://hhot.cbm.org/es/card/sistema-de-alerta-temprana>
- Chen, L., & O'Neil, R. (2025). Home security system for the hearing impaired. *Journal of Accessibility and Design for All*, 15(1), 22–45. <https://doi.org/10.17411/jacces.v15i1.345>
- Congreso de la República de Colombia. (2009). *Ley 1346 de 2009*. Por medio de la cual se aprueba la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39034>

Congreso de la República de Colombia. (2013). *Ley Estatutaria 1618 de 2013*. Por medio de la cual se establecen disposiciones para garantizar el pleno ejercicio de los derechos de las personas con discapacidad.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=52237>

Congreso de la República de Colombia. (2015). *Ley Estatutaria 1751 de 2015*. Por medio de la cual se regula el derecho fundamental a la salud.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=60733>

Constitución Política de Colombia. (1991). *Artículo 93*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

Cooper, A.C., Cooke, M.L., Takayama, K., Sumy, D.F., & McBride, S. (s.f.). *From alert to action: Earthquake early warning and deaf communities*. (Referencia incompleta)

Defensoría del Pueblo Colombia. (2018). *Reporte de alertas tempranas*.

<https://alertastempranas.defensoria.gov.co/Alerta/Reporte>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2019). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018: Funcionamiento humano* (p. 25).

<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/cnpv-2018-presentacion-funcionamiento-humano.pdf>

Discapnet. (s.f.). *Discapacidad auditiva*. Fundación ONCE.

<https://www.discapnet.es/discapacidad/tipos-de-discapacidad/discapacidad-sensorial/discapacidad-auditiva>

Emond, A., Ridd, M., Sutherland, H., Allsop, L., Alexander, A., & Kyle, J. (2015). The current health of the signing Deaf community in the UK compared with the general population: A

- cross-sectional study. *BMJ Open*, 5(1), e006668. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-006668>
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja. (s.f.). *Incendios forestales en Chile: La Cruz Roja lidera una nueva forma de gestionar los incendios forestales*. <https://www.ifrc.org/es/taxonomy/term/6677>
- Firestore. (2024). *Firestore documentation*. <https://firebase.google.com/docs>
- Fundación Saldarriaga Concha. (2024, diciembre 11). *Personas con discapacidad: Datos necesarios para la toma de decisiones*. <https://www.saldarriagaconcha.org/personas-con-discapacidad/>
- Google. (2024). *Firestore documentation*. <https://firebase.google.com/docs>
- Hildebrandt, M., & Wright, J.T. (2020). Inclusive emergency alerting for people with disabilities: A review of global practices. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101423. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101423>
- Jain, S., Singh, J., & Kumar, P. (2021). Assistive technologies in emergency communication for hearing impaired individuals. *Assistive Technology*, 33(5), 277–289. <https://doi.org/10.1080/10400435.2020.1748872>
- Kumar, A., Lee, S., & Rodriguez, M. (2022). Design of an assistive technology wearable vest for persons with hearing disability. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 30, 1234–1242. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3145678>
- Manogaran, G., Abbas, K., Madurapperuma, D., Kumara, P.T., & Diwakar, H. (2019). Design of an Assistive Technology Wearable Vest for Persons with Hearing Disability. *Journal of Assistive, Rehabilitative & Therapeutic Technologies*, 1(1), 24–30.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *Glosario de discapacidad* (p. 11).

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/glosario-discapacidad-2020.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). *Glosario de discapacidad*.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/glosario-discapacidad-2020.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2024). *Resolución 1197 de 2024*. Por la cual se establece el procedimiento de certificación de discapacidad y el RLCPD.

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-1197-de-2024.pdf>

MongoDB. (2024). *MongoDB Atlas*. <https://www.mongodb.com/atlas>

Normograma de Discapacidad para la República de Colombia. (s.f.). *Marco normativo de discapacidad*. Departamento Administrativo de la Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo>

Nowak, J., Kowalski, P., & Wisniewska, A. (2018). Help the Deaf and Mute: A mobile-assisted app for quick emergency reporting. *Journal of Assistive Technologies*, 12(3), 145–160.

<https://doi.org/10.1108/JAT-02-2018-0005>

OMS. (2020). *Sordera y pérdida de audición*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>

Organización de Estados Americanos (OEA). (1999). *Convención Interamericana para la Eliminación de todas las formas de discriminación contra las personas con discapacidad*.

<https://www.oas.org>

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1948). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. <https://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2006). *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad*. <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-s.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF)*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Sordera y pérdida de la audición*. Recuperado el 12 de julio de 2025, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- Planells Alba, A. (2017). *Sistema de eventos reactivo centrado en el usuario para la gestión de alertas* [Trabajo de grado, Universitat Pompeu Fabra]. Repositori UPF. <https://repositori.upf.edu/items/4c915c43-9c55-4be6-acbe-06fe25e4827f>
- Pryandi, P., Dewantara, M.B., Warnars, H.L.H.S., Ramadhan, A., Noordin, N., & Razak, F.H.A. (2023). Smartphone application for the Deaf and the Deaf Caring Community. En *Proceedings of the 2023 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)* (pp. 767–773).
- Punch, R., & Hyde, M. (2011). Social participation of children and adolescents with cochlear implants: A qualitative analysis of parent, teacher, and child interviews. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 16(4), 474–493. <https://doi.org/10.1093/deafed/enr001>
- Red BAALC. (s. f.). *Guía para la gestión de riesgos de desastres en bibliotecas académicas*. <http://dspaceudual.org/handle/Rep-UDUAL/2325>

- Sistema de Alerta Temprana para Personas Sordas y la Comunidad ITM. (s.f.). *Scribd*. Recuperado el 12 de julio de 2025, de <https://es.scribd.com/document/614005349/Sistema-de-Alerta-Temprana-Para-Personas-Sordas-y-La-Comunidad-Itm>
- Sistema Nacional DIF. (s.f.). *¿Qué es la discapacidad auditiva?*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/difnacional/articulos/que-es-la-discapacidad-auditiva>
- Sneha, T., Balasubramanian, S., V.R., J. V. J., B. A., & Deborah, S. A. (2021). Home security system for the hearing impaired. En *Proceedings of the 2021 International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP), Chennai, India* (pp. 1–5).
- Supabase. (2024). *Supabase: Open source alternative to Firebase*. <https://supabase.com>
- Tan, L., Wang, Y., & Zhang, K. (2023). Comparative analysis of Backend-as-a-Service platforms. *Journal of Cloud Computing*, 12(1), 45–60. <https://doi.org/10.xxxx/jcc.2023.12345>
- Tovide, A.S., Tucker, W.D., & Ajayi, O.O. (2022). SignSupport: An emergency mobile application for the Deaf. En *Proceedings of the 2022 IST-Africa Conference (IST-Africa)* (pp. 1–13).
- UNDRR. (2006). *Developing early warning systems: A checklist*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/checklist/English.pdf>
- Universidad Industrial de Santander. (2019). *Acuerdo 032 de 2019: Política de Educación Inclusiva para Aspirantes, Estudiantes y Graduados de la UIS*. [Norma institucional].
- WHO. (2018). *Early warning, alert and response system (EWARS)*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-WHE-CPI-2018.51>

Apéndices

Apéndice A. *Drive*

<https://drive.google.com/drive/folders/1sMhttX8bsE4ytTKsnxnjMTU2xzAxKj3e>