



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE ASISTENCIA PARA PERSONAS CON SORDERA QUE PERMITA EL AVISO E IDENTIFICACIÓN DE ALARMAS SONORAS EN ENTORNOS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ”

AUTORES: GAVILANES CORTEZ ANDREA ISABEL
SEVILLANO MERA MARÍA JOSÉ

DIRECTOR: ING. ARCENTALES VITERI, ANDRÉS RICARDO, PHD

QUITO-ECUADOR
2023

VERSIÓN: 1.1



Sumario



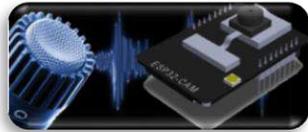
01

Introducción



02

Diseño e
implementación del
hardware



03

Software de adquisición
y procesamiento de
señales



04

Pruebas y
resultados



05

Conclusiones
y recomendaciones



Introducción

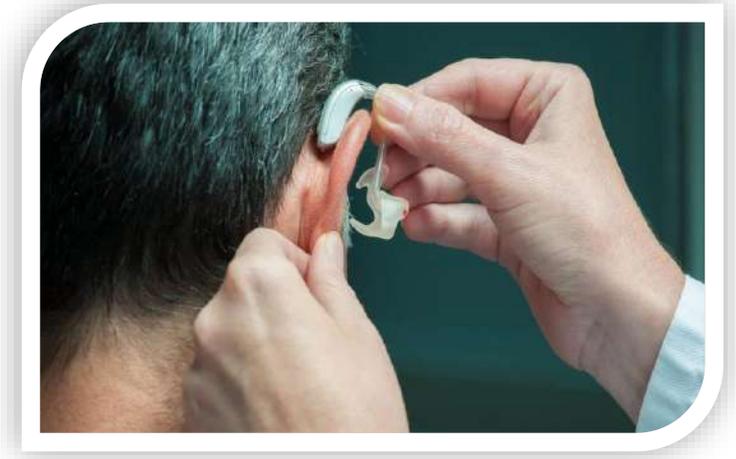
Antecedentes



Participación e inclusión
de personas con
discapacidad



Responsabilidad
empresarial y leyes de
seguridad industrial



Proyectos y soluciones
tecnológicas para la
inserción laboral

Introducción

Justificación



Leyes internacionales y nacionales de trabajo para personas con discapacidad



Tecnologías de asistencia enfocadas en mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad



Empresa local que promueve prácticas de inclusión laboral.

Introducción

Objetivos



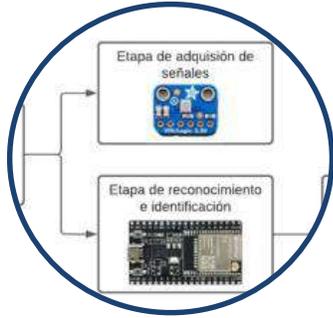
Objetivo General:

Implementar un dispositivo de asistencia guiada para personas con sordera que permita el aviso e identificación de alarmas sonoras en entornos de la industria automotriz.

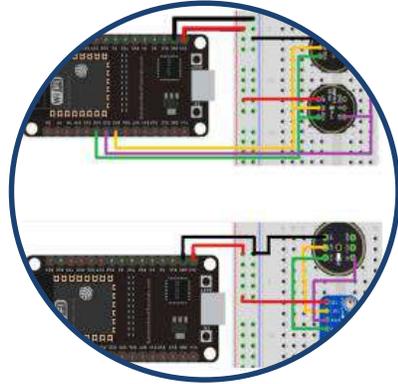


Introducción

Objetivos Específicos



Diseñar un sistema de monitorización de alarmas



Realizar análisis comparativo de los componentes de hardware



Diseñar un sistema de estimulación visual y táctil



Elaborar dos prototipos para la adquisición y procesamiento de señales de alarma



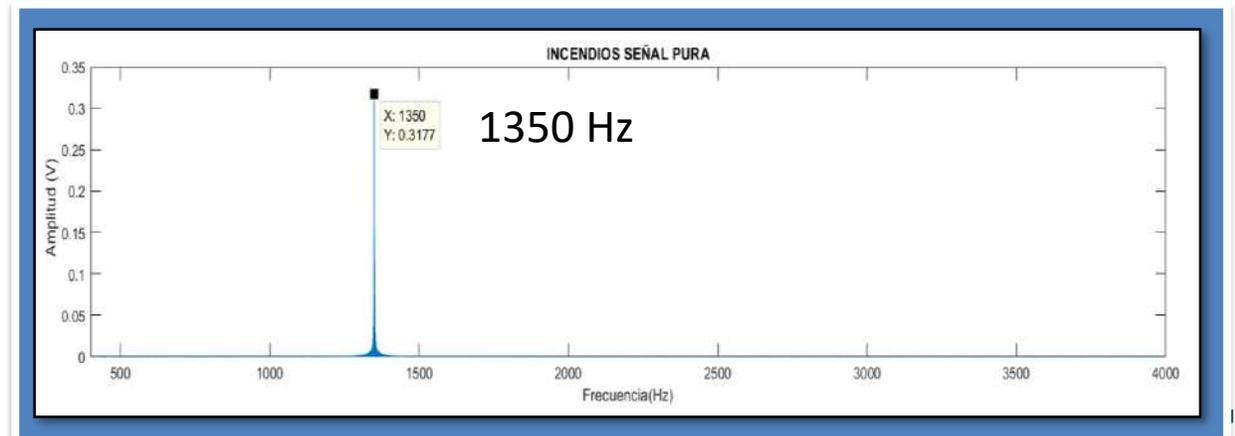
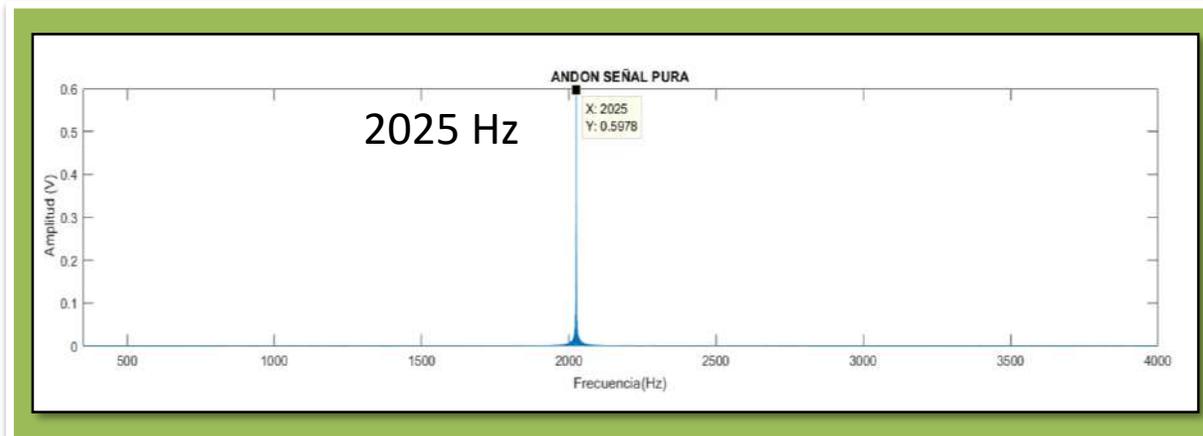
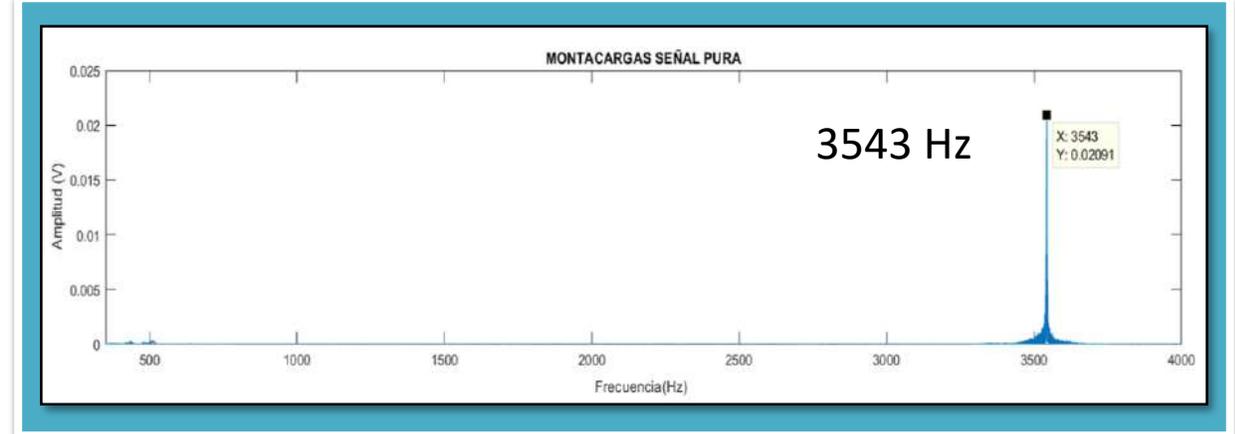
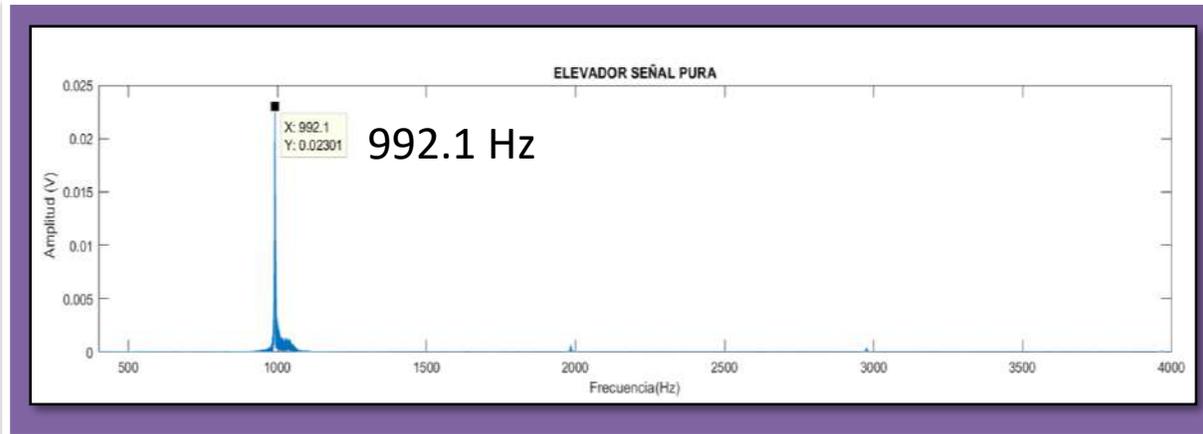
Realizar análisis comparativo del desempeño de los prototipos



Diseño del Hardware

Requerimientos de diseño

Frecuencias de las señales de alarma



Diseño del Hardware

Requerimientos de diseño

Localizaciones para la toma de señales de alarma



Puesto de trabajo del operario



Oficinas de despacho



Pasillo de producción



Pasillo de vestidura

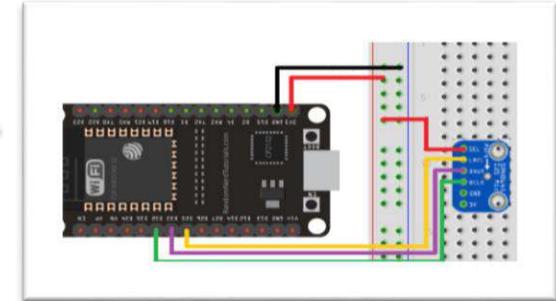


Diseño del Hardware

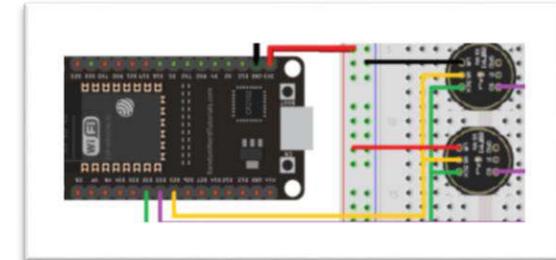
Selección de componentes del hardware: sensores

Característica	INMP441	SPH0645
Tipo de micrófono	MEMS	MEMS
Directividad	Omnidireccional	Omnidireccional
Salida	I2S digital 24 bits	I2S digital de 32 bits
SNR (Relación señal ruido)	61dBA	65dBA
Sensibilidad	-26dBFS a 87dB	-26dB +-3dB a 94dB SPL
Consumo de corriente	1,4 mA	600uA
Respuesta en frecuencia	60Hz a 15KHz	50Hz a 15kHz

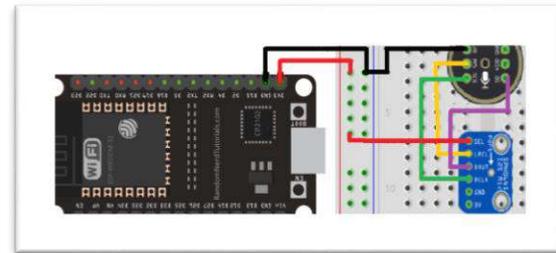
Configuración monofónica utilizando el sensor SPH0645



Configuración estereofónica sensores INMP441

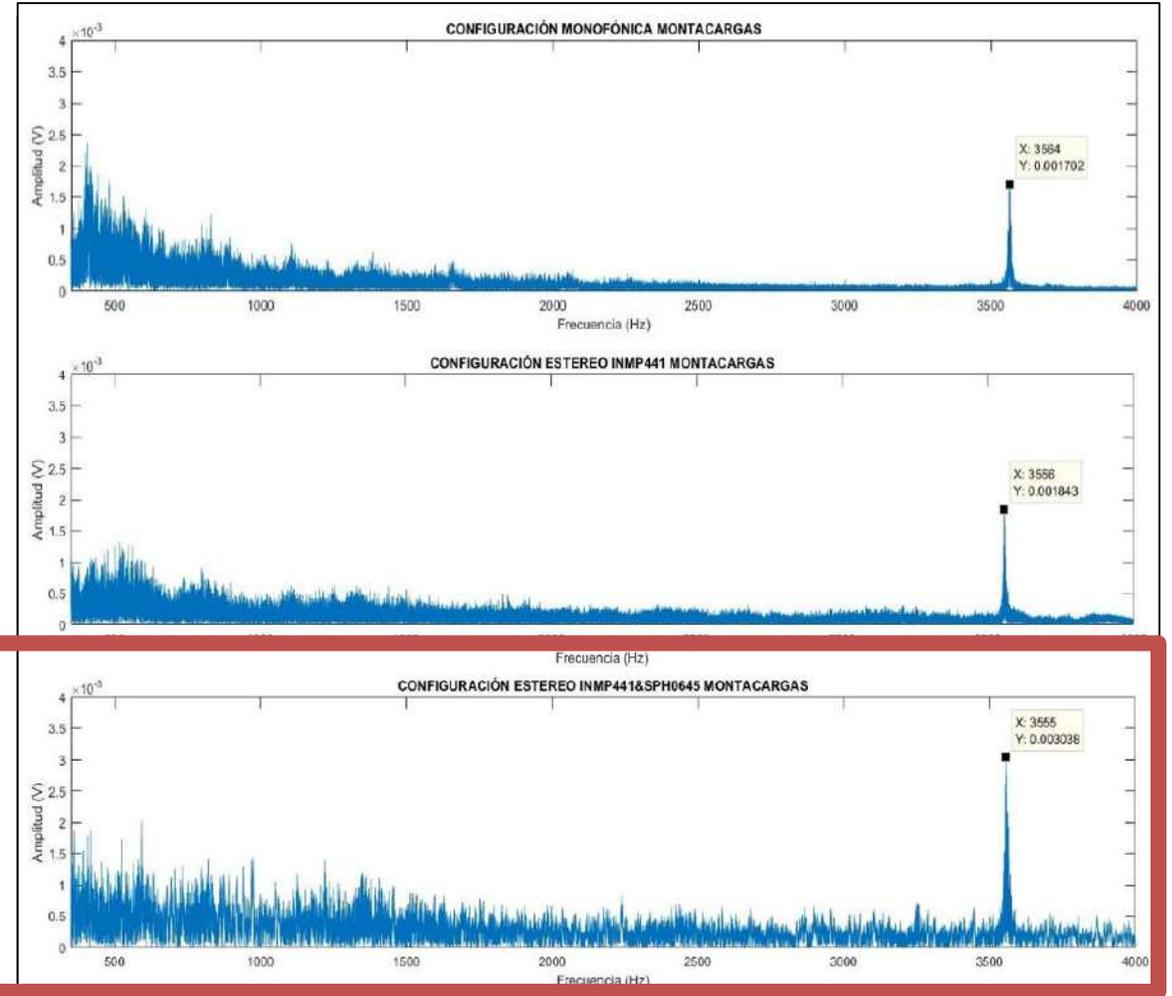
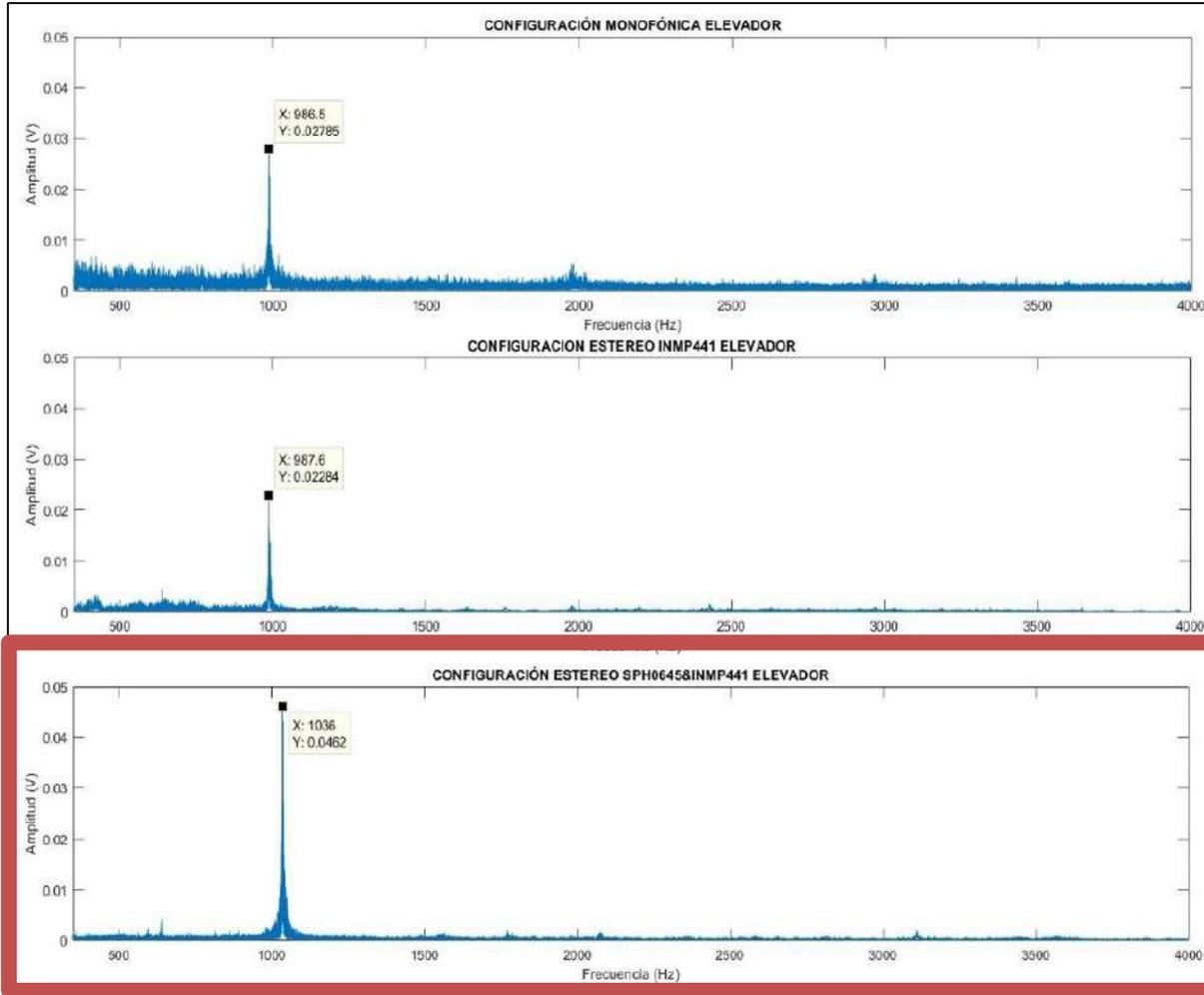


Configuración estereofónica sensor INMP441 canal izquierdo y SPH0645-canal derecho



Diseño del Hardware

Selección de componentes del hardware: sensores



Diseño del Hardware

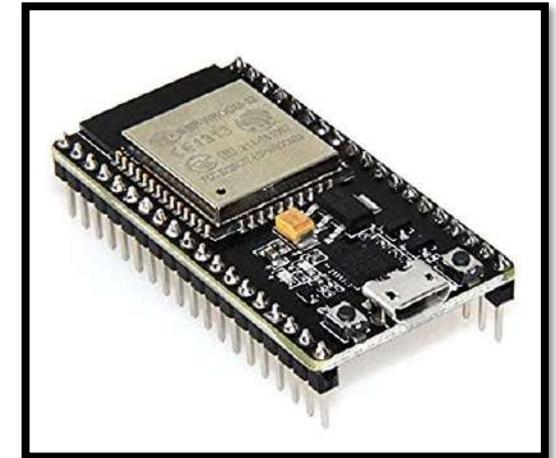
Selección de componentes del hardware: microcontrolador

Tiempo de operación

Característica		Raspberry Pi Pico	ESP32
Test pines digitales	digitalRead (μ s)	0,131	0,141
	digitalWrite (μ s)	0,278	0,109
	pinMode (μ s)	0,866	2,506
Test de operaciones con caracteres	multiply byte (μ s)	0,065	0,037
	divide byte (μ s)	0,251	0,049
	add byte (μ s)	0,065	0,032
Test de operaciones con enteros	multiply byte (μ s)	0,057	0,053
	divide byte (μ s)	0,228	0,059
	add byte (μ s)	0,056	0,053
Test de operaciones con flotantes	multiply byte (μ s)	0,583	0,054
	divide byte (μ s)	0,473	0,224
	add byte (μ s)	0,688	0,054
Test de manejo de bits	bitSet() (μ s)	0,04	0,045

Tiempo del procesamiento

Característica	Raspberry Pi Pico	ESP32
Frecuencia CPU	133	240
1/F (μ s)	0,0075	0,0042
Sobrecoste (μ s)	0,034	0,022



Diseño del Hardware

Selección de componentes del hardware: actuadores y ubicación de dispositivo

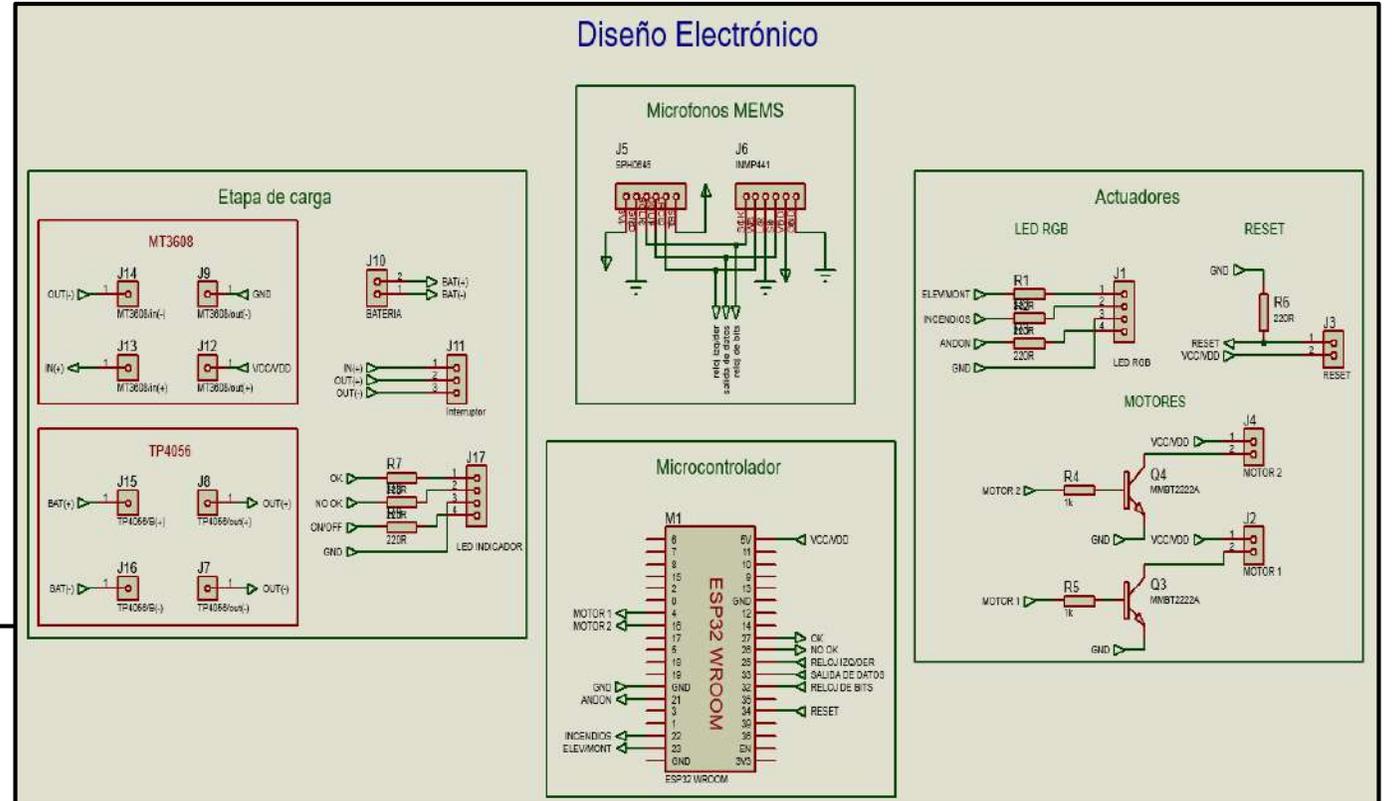
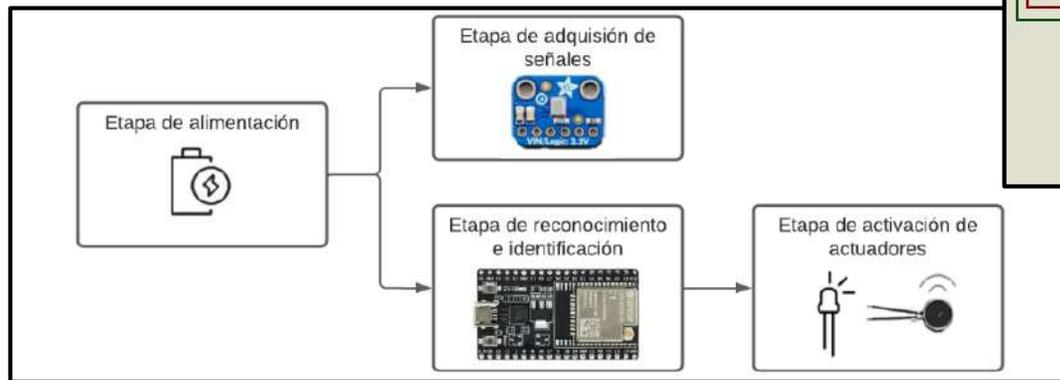


Diseño del Hardware

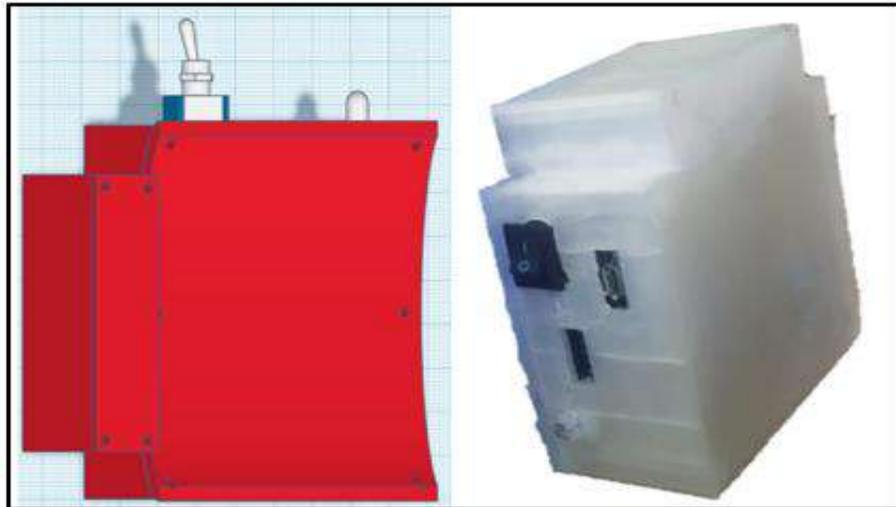
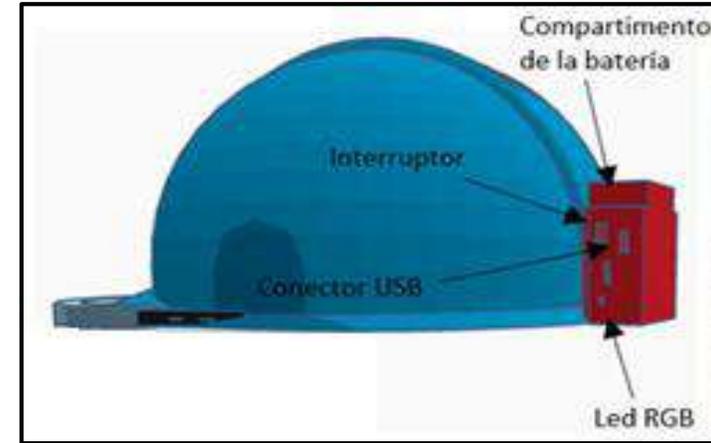
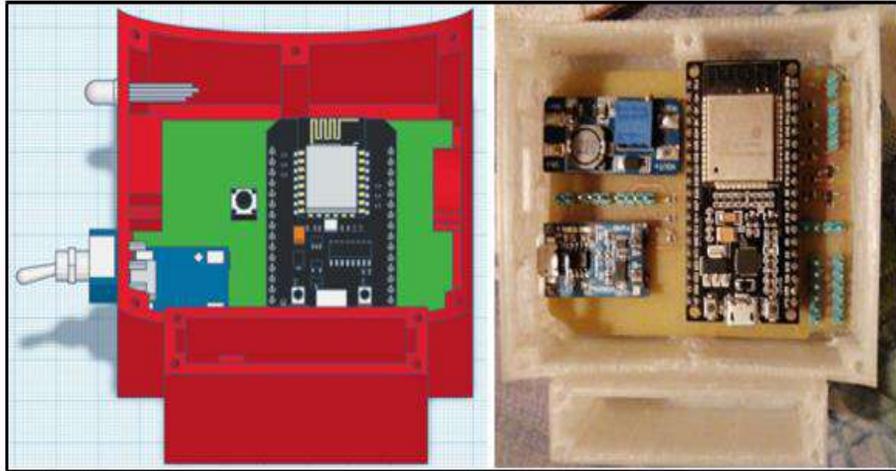
Esquemáticos del dispositivo

Requerimientos del sistema:

El dispositivo debe contar con una batería portable y un cargador. Debe tener un botón ON/OFF, y un indicador de estados: apagado, encendido, detección de fallas y correcto funcionamiento. Debe contar con un control reset.



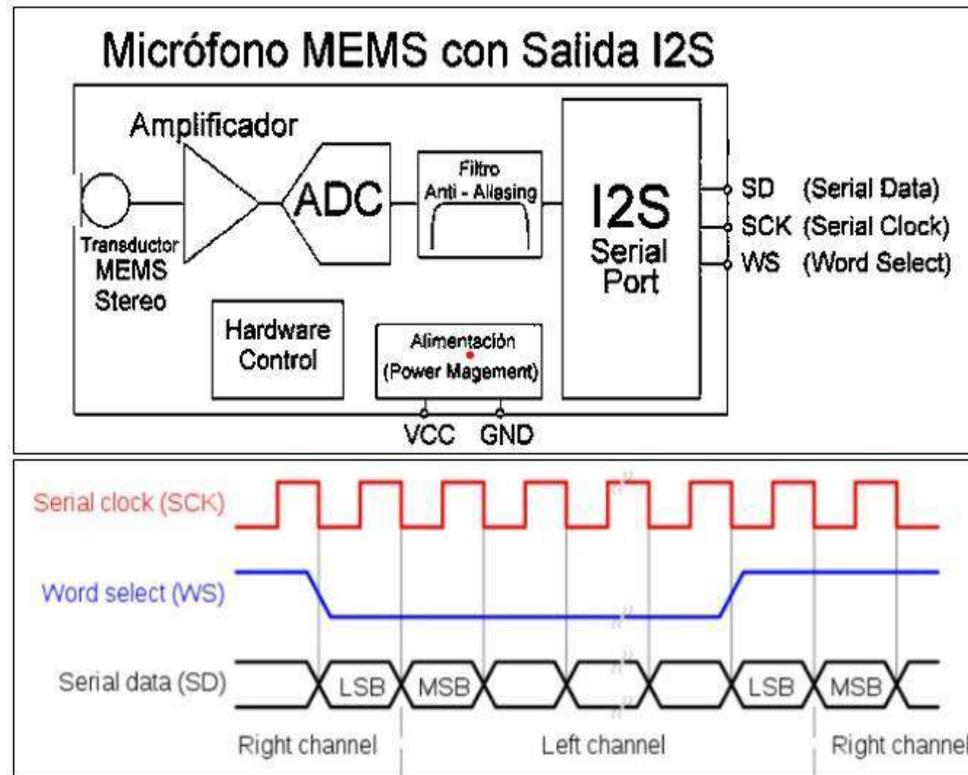
Implementación del Hardware



Diseño del Software

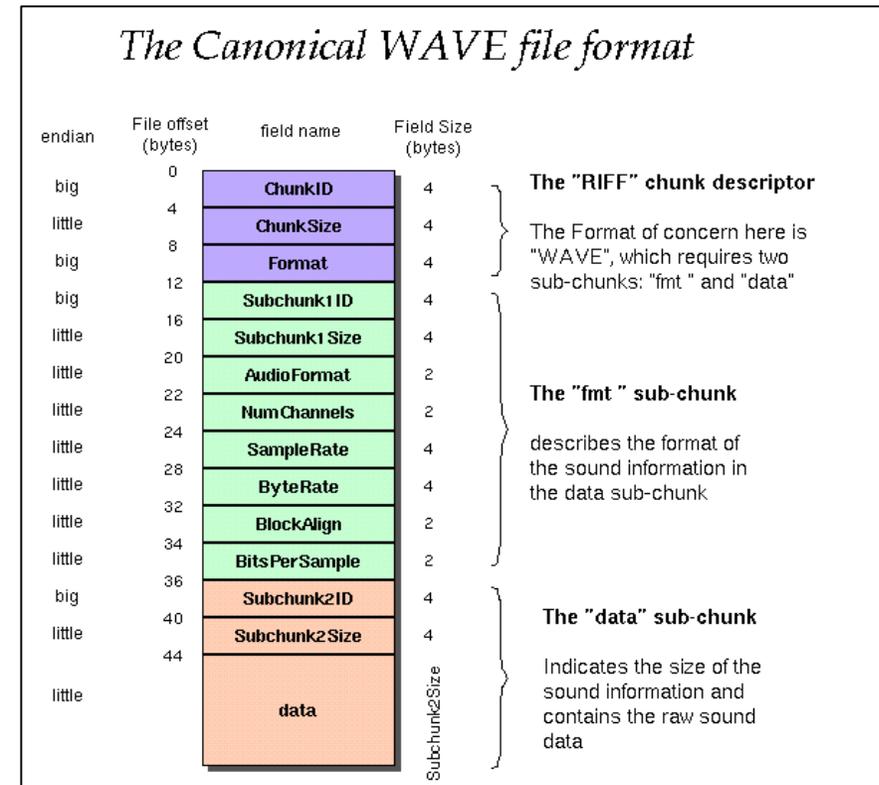
Etapa de adquisición de señales de alarma

Micrófonos MEMS usan el protocolo I2S para la transferencia de señales acústicas



Gómez, 2021.

Sonidos que genera la activación de alarmas y el ruido ocasionado por la maquinaria de la planta audio se guarda en formato WAV



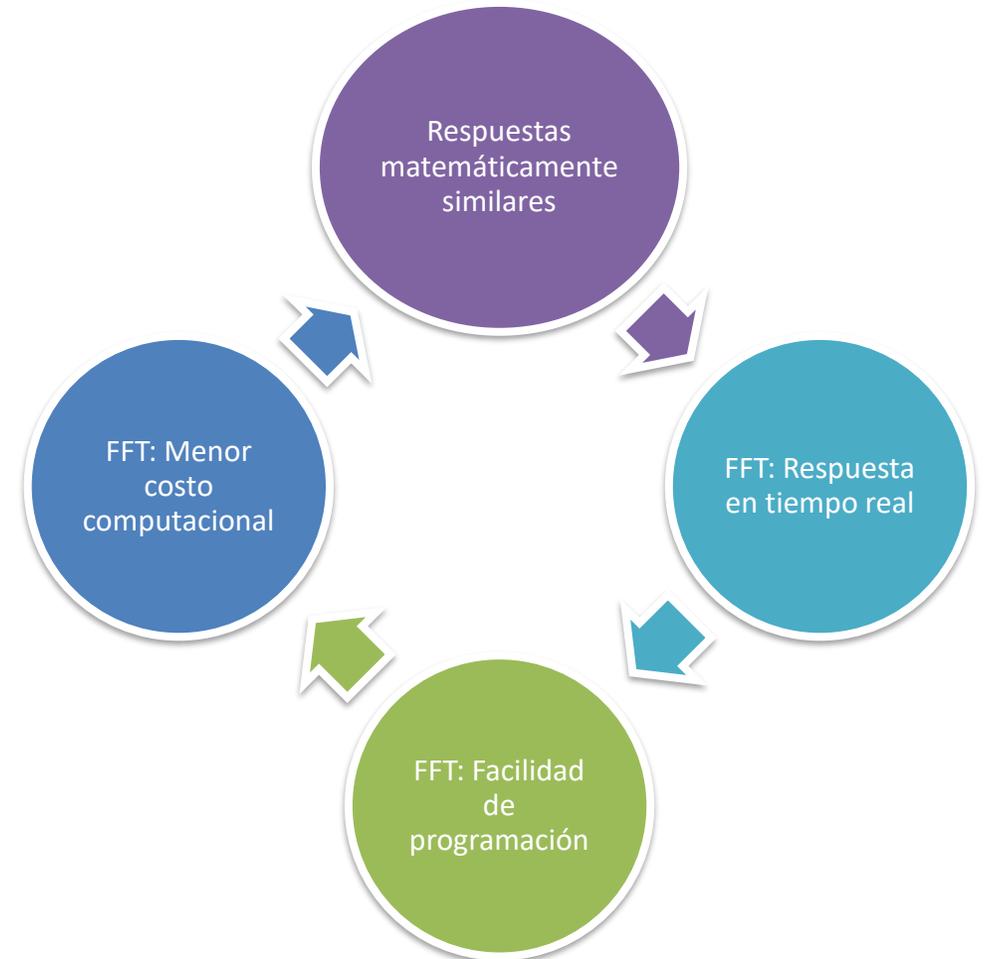
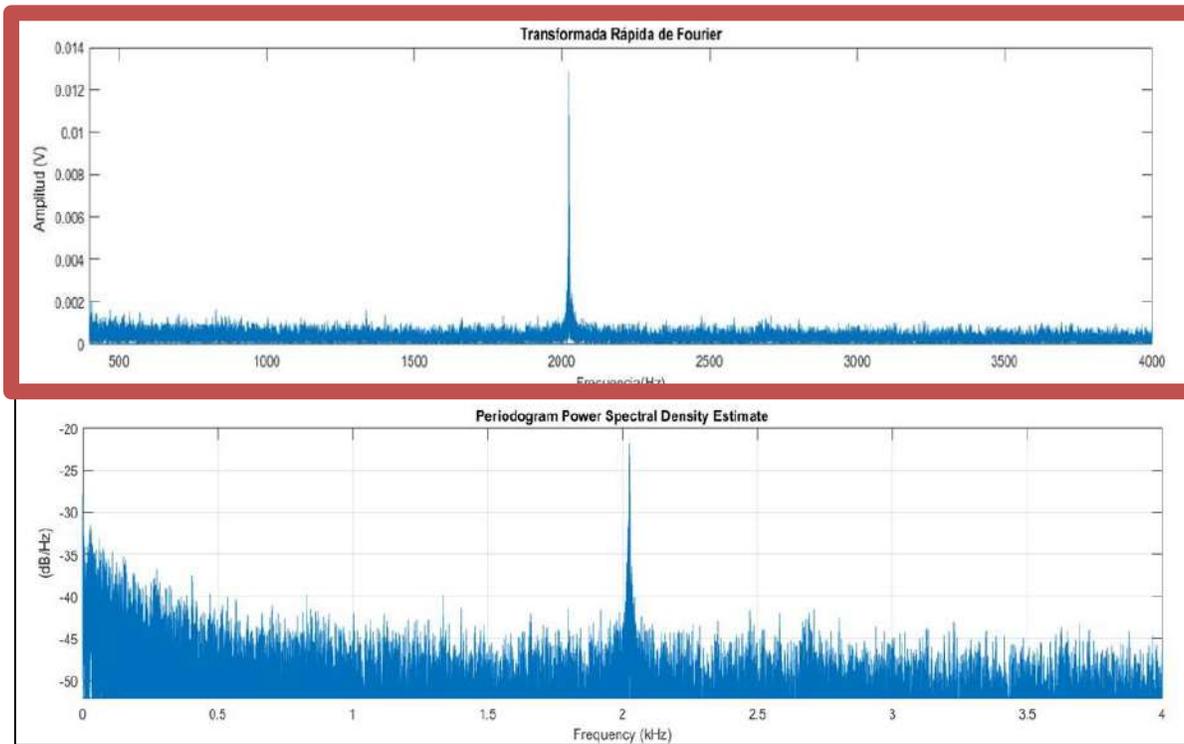
Scott, 2003



Diseño del Software

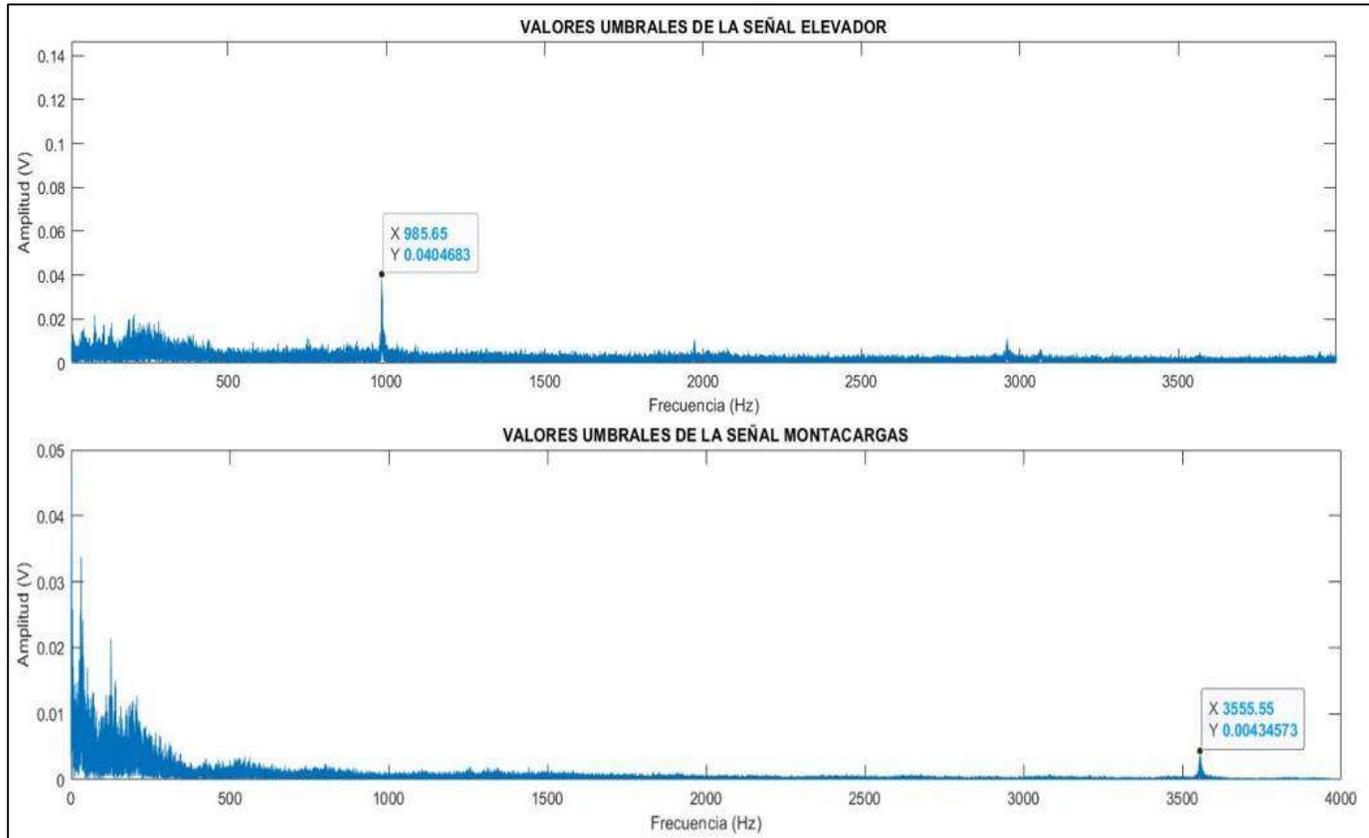
Etapa de reconocimiento e identificación

Método de estimación espectral



Diseño del Software

Análisis de señales de alarma: amplitud



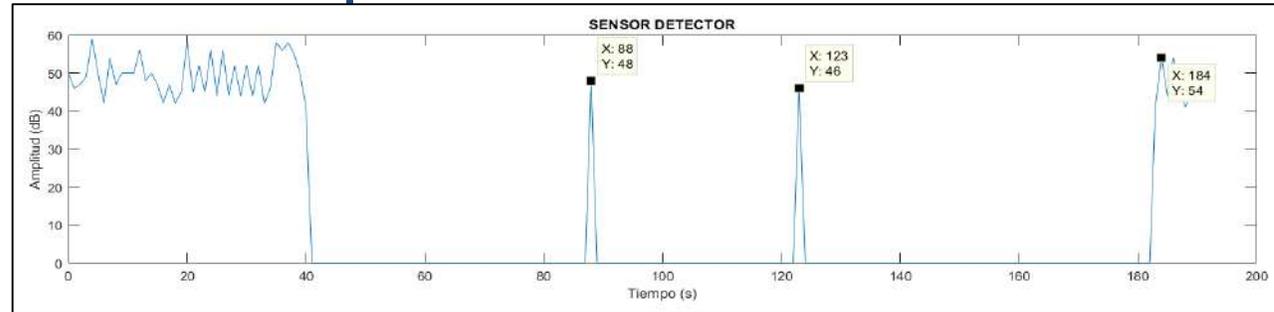
Tipo de Alarma	Amplitudes mínimas
Elevador	0.04V
Montacargas	0.004V
ANDON	0.012V
Incendios	0.025V



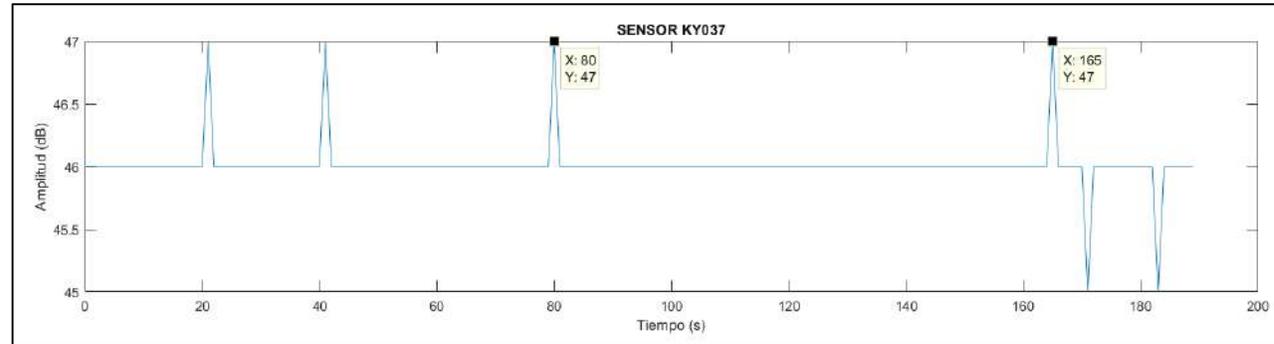
Diseño del Software

Análisis de señales de alarma: amplitud

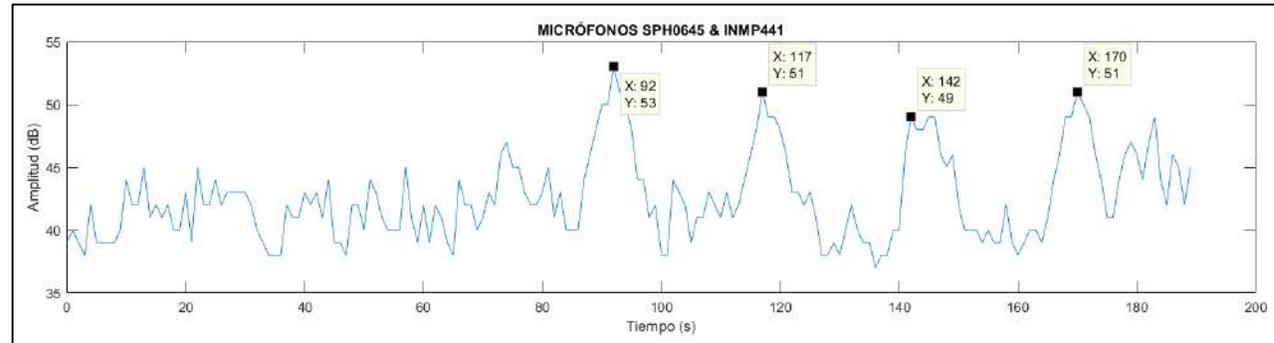
Sensor detector



Sensor KY-037

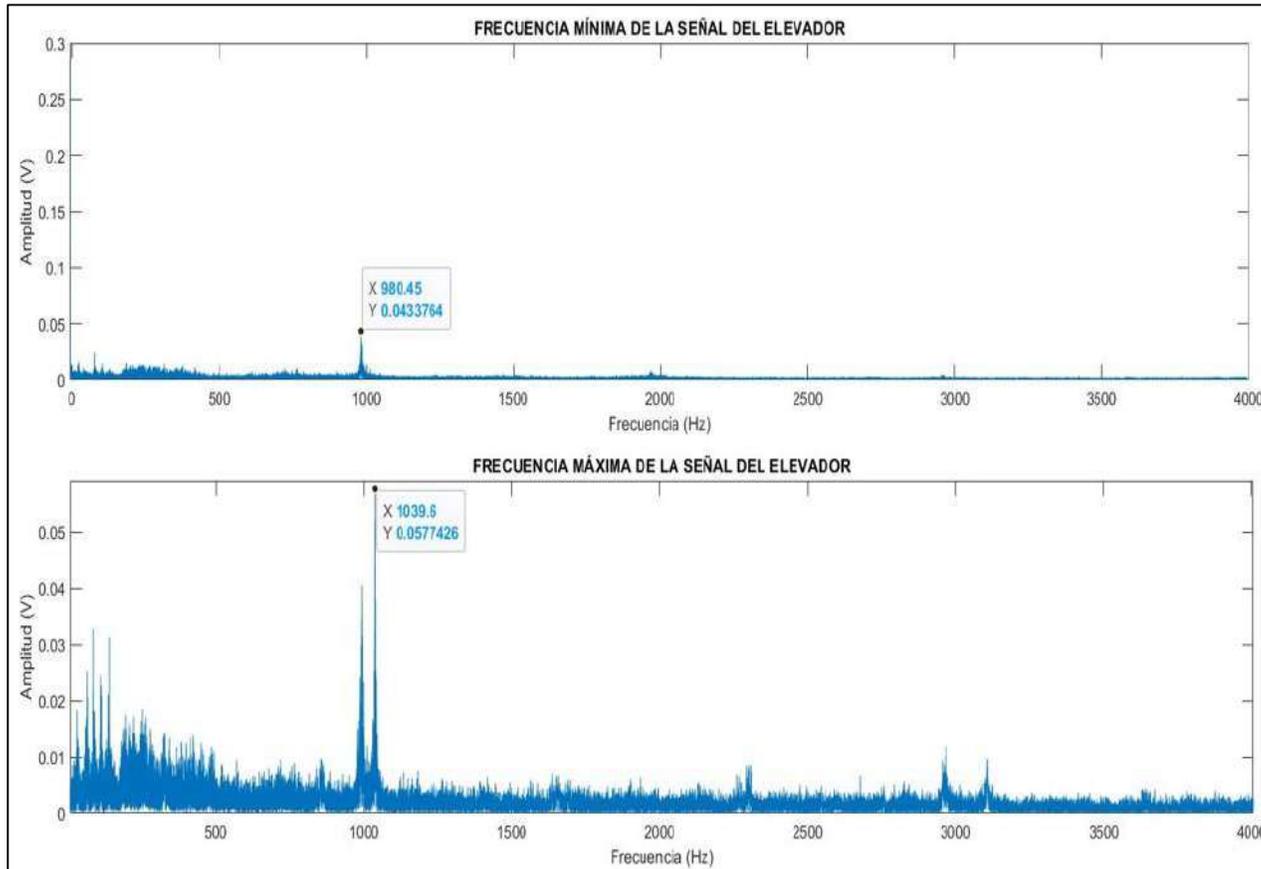


Micrófonos SPH0645
y INMP441



Diseño del Software

Análisis de señales de alarma: frecuencia



Tipo de Alarma	Rango de Frecuencia
Elevador	980Hz – 1040Hz
Montacargas	3550Hz – 3570Hz
ANDON	2020Hz – 2025Hz
Incendios	1290Hz – 1295Hz



Diseño del Software

Entrenamiento del modelo del sistema

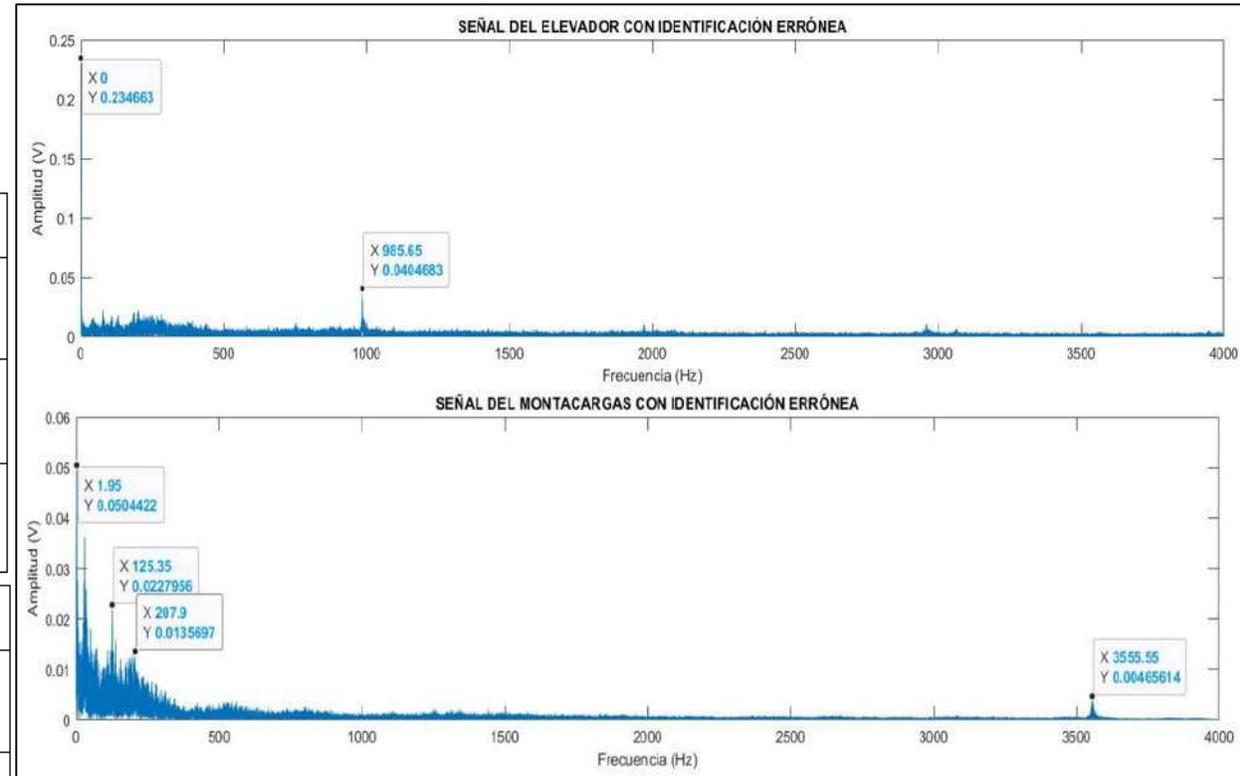
Primera prueba del sistema modelado en Matlab

Se realizan 15 grabaciones de las señales de alarma

Análisis cuantitativo de la señal del elevador y montacargas

		Real	
		Elevador	Ruido
Estimado	Elevador	14	0
	Ruido	1	15

		Real	
		Montacargas	Ruido
Estimado	Montacargas	0	0
	Ruido	15	15



Diseño del Software

Entrenamiento del modelo del sistema

Segunda prueba del sistema modelado en Matlab
Se realizan 5 grabaciones de las señales de alarma en 1 segundo y 0,5 segundos.

Filtro utilizando una ventana rectangular que elimine frecuencias menores de 500Hz y mayores a 4000Hz

Análisis cuantitativo de la señal del montacargas 1 segundo

		Real	
		Montacargas	Ruido
Estimado	Montacargas	5	0
	Ruido	0	5

Análisis cuantitativo de la señal del montacargas 0,5 segundos

		Real	
		Montacargas	Ruido
Estimado	Montacargas	5	0
	Ruido	0	5



Diseño del Software

Sistema de identificación en tiempo real

Contenedores para cada frecuencia de alarma

Tipo de alarma	Frecuencia	Contenedor
Elevador	980Hz – 1040Hz	bin [19] – bin [22]
Montacargas	3550Hz – 3570Hz	bin [75] – bin [77]
ANDON	2020Hz – 2025Hz	bin [43] – bin [44]
Incendios	1290Hz – 1295Hz	bin [27] – bin [28]

Para reducir costos computacionales se establece un valor umbral de 0.003V para realizar la FFT

Pruebas realizadas en Arduino de las señales de alarma que se activan durante 0,5 segundos

Análisis cuantitativo de la señal del elevador y montacargas

		Real	
		Elevador	Ruido
Estimado	Elevador	5	0
	Ruido	0	5

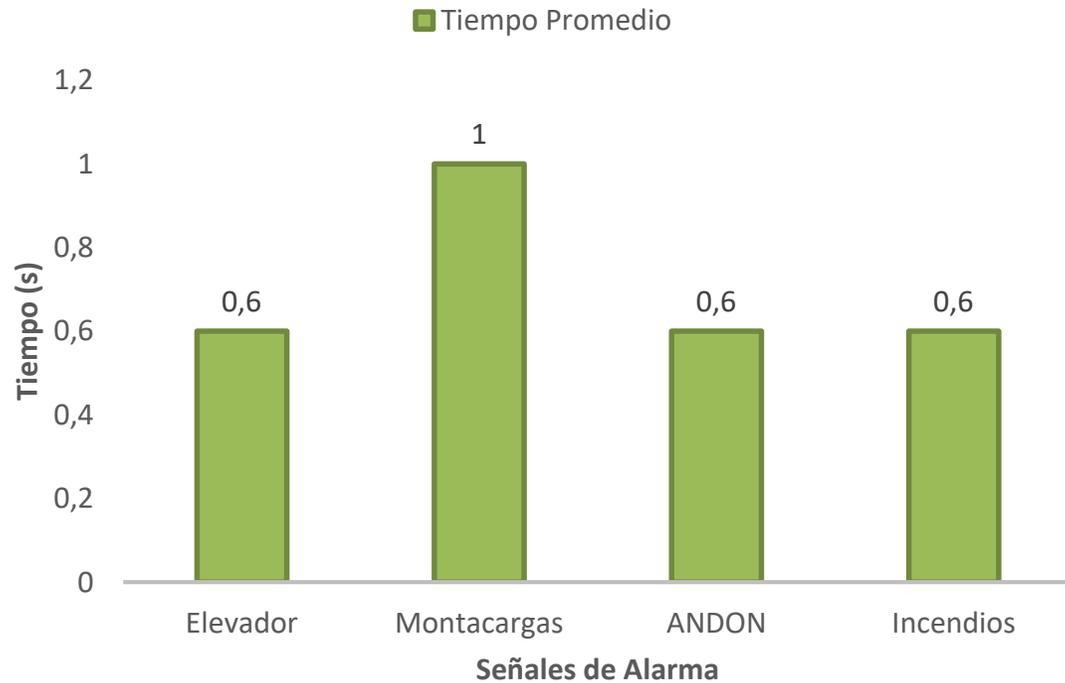
		Real	
		Montacargas	Ruido
Estimado	Montacargas	5	0
	Ruido	0	5



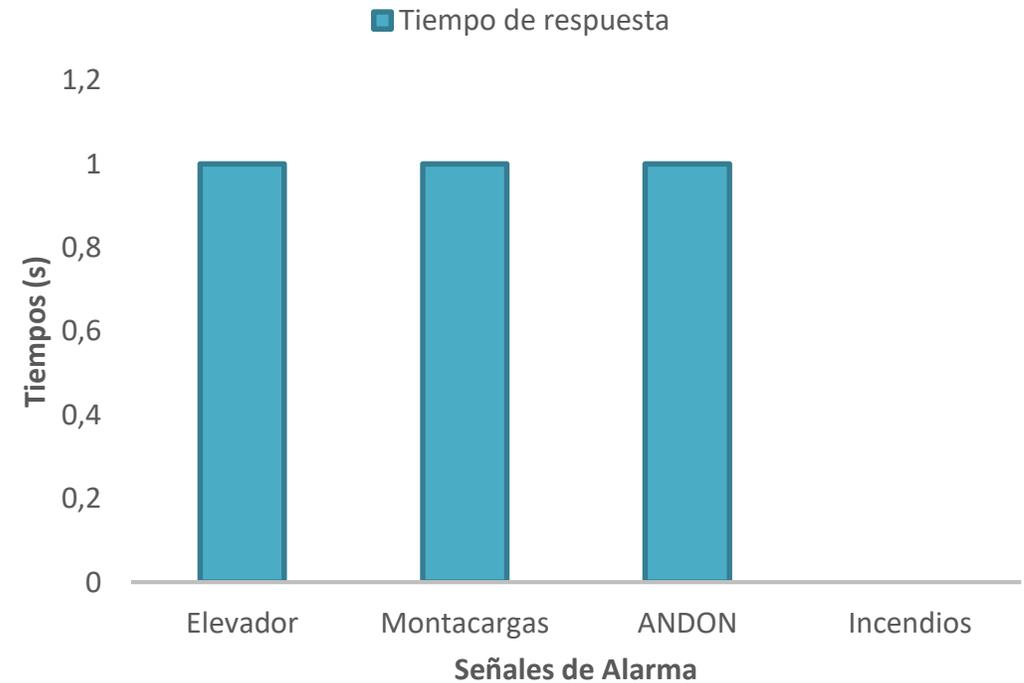
Pruebas y resultados

Pruebas de desempeño

Tiempo de Respuesta fuera del horario laboral



Tiempo de Respuesta en horario laboral



Pruebas y resultados

Pruebas de desempeño

Pruebas de distancia para la detección de las alarmas

Tipo de alarma	Distancia [metros]			
	0,6	2,0	3,0	5,0
Elevador	X	X	X	
Montacargas	X	X		
ANDON	X	X	X	
Incendios	X	X	X	X



Pruebas y resultados

Pruebas de desempeño



La batería pudo abastecer al dispositivo de asistencia por 10 horas seguidas

Recomendación: El tiempo para cargar por completo la batería es de 2 horas.

El dispositivo es capaz de minimizar riesgos o consecuencias perjudiciales tanto para la salud del usuario como para su desempeño laboral.

El dispositivo no es pesado y no causa fatiga o incomodidad al momento de ser usado.

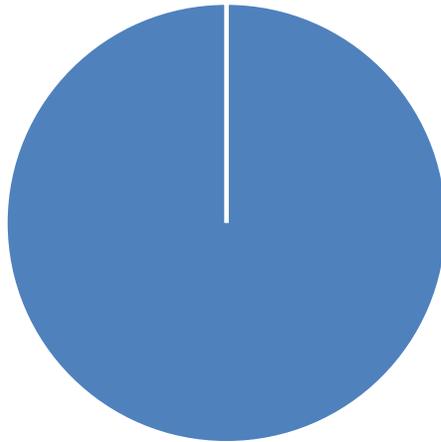


Pruebas y resultados

Pruebas de ergonomía

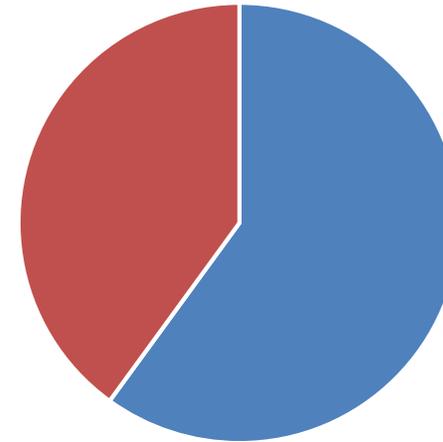
Se realizaron a través de encuestas a 5 personas obteniendo los siguientes resultados:

El dispositivo es equiparable, flexible, intuitivo, perceptible y minimiza riesgos



■ Si ■ No

El tamaño del dispositivo es adecuado

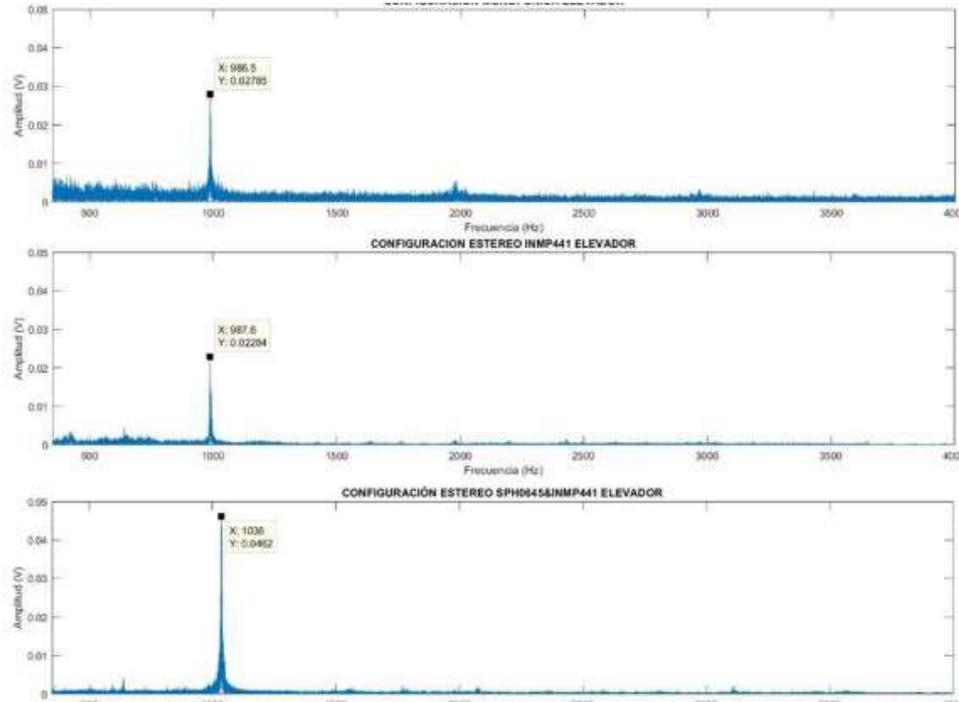
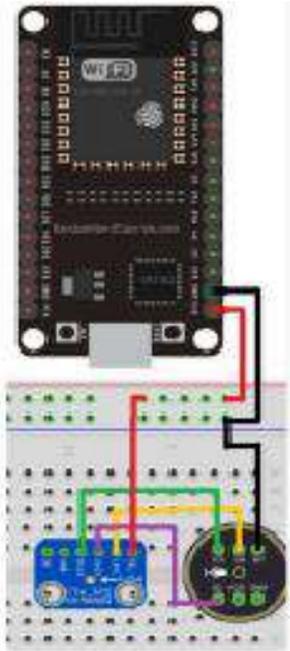


■ Si ■ No



Conclusiones

Conclusiones



Análisis comparativo de los distintos componentes de Hardware

Para la adquisición de las señales de audio se escogieron los micrófonos SPH0645 y INMP441, en configuración estéreo. Debido a su superior atenuación de ruido y sensibilidad ante perturbaciones.

Para el procesamiento de las señales adquiridas se seleccionó al microcontrolador ESP32 debido a sus tiempos de respuesta ante el manejo de bits.



Conclusiones

Conclusiones



Diseño un sistema de estimulación visual y táctil

Para la estimulación visual y háptica se seleccionó un led RGB y un mini motor vibrador.

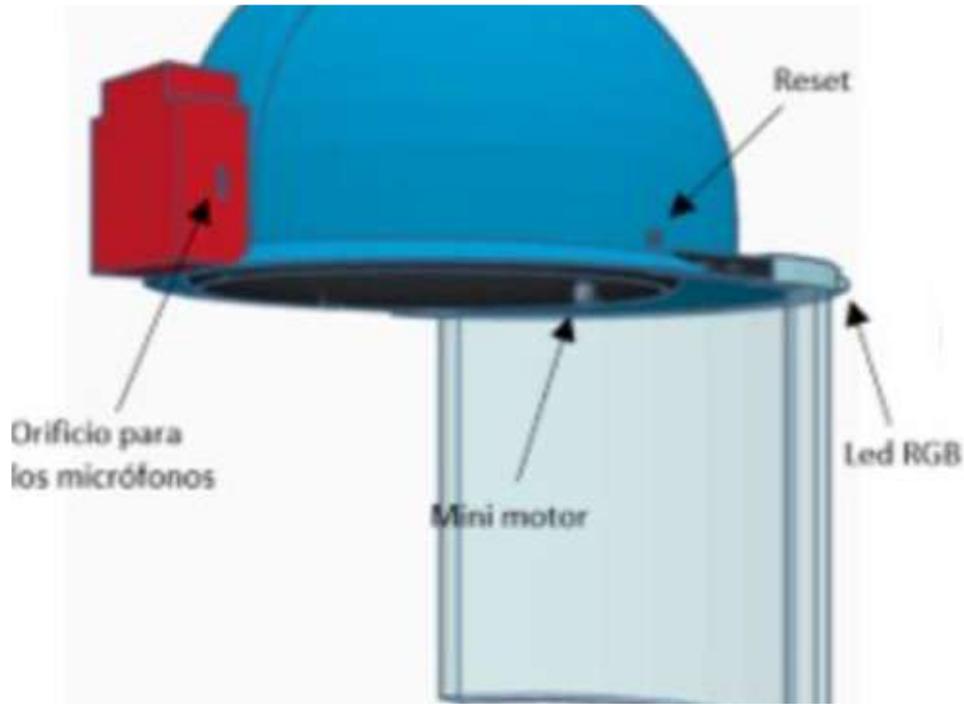
Estos actuadores fueron colocados en equipos de protección individual (EPI), debido a que son de uso obligatorio en industrias automotrices.

Estos actuadores generan estímulos ante una señal de alarma.



Conclusiones

Conclusiones



Elaboración de dos prototipos basado en estimulación visual y táctil

Después de las pruebas realizadas al operador, se concluyó que la unión de ambos prototipos mejora el reconocimiento e identificación de los diferentes tipos de alarma.

Debido a que es más fácil reconocer en conjunto la vibración generada por los motores y a su vez identificar los colores para conocer que alarma se ha activado.



Conclusiones

Conclusiones

Tipo de Alarma	Amplitudes mínimas
Elevador	0.04V
Montacargas	0.004V
ANDON	0.012V
Incendios	0.025V

Tipo de Alarma	Rango de Frecuencia
Elevador	980Hz – 1040Hz
Montacargas	3550Hz – 3570Hz
ANDON	2020Hz – 2025Hz
Incendios	1290Hz – 1295Hz

Diseño de un sistema de monitorización para la adquisición y procesamiento

Para el reconocimiento e identificación se hace uso de FFT, debido a que facilita aplicaciones en tiempo real.

Se estableció una amplitud umbral y un rango de frecuencia debido a las variaciones de estas en un mismo tipo de alarma.

Establecer una amplitud umbral ayuda a reducir costo computacional.



Conclusiones

Conclusiones



Diseño de un sistema de monitorización para la adquisición y procesamiento

Después del análisis de los datos se transcribe el modelo matemático implementado en Matlab al entorno de programación Arduino, con algunas modificaciones para que funcione en tiempo real.

Del modelo matemático en Arduino se establece que el tiempo de respuesta es de 639ms. Además, se concluye que el sistema es robusto y capaz de reconocer todas las señales de alarma.



Conclusiones

Conclusiones



Análisis del desempeño del dispositivo de asistencia

El dispositivo es capaz de alertar al operador si un vehículo móvil está a menos de 0,6 metros de distancia.

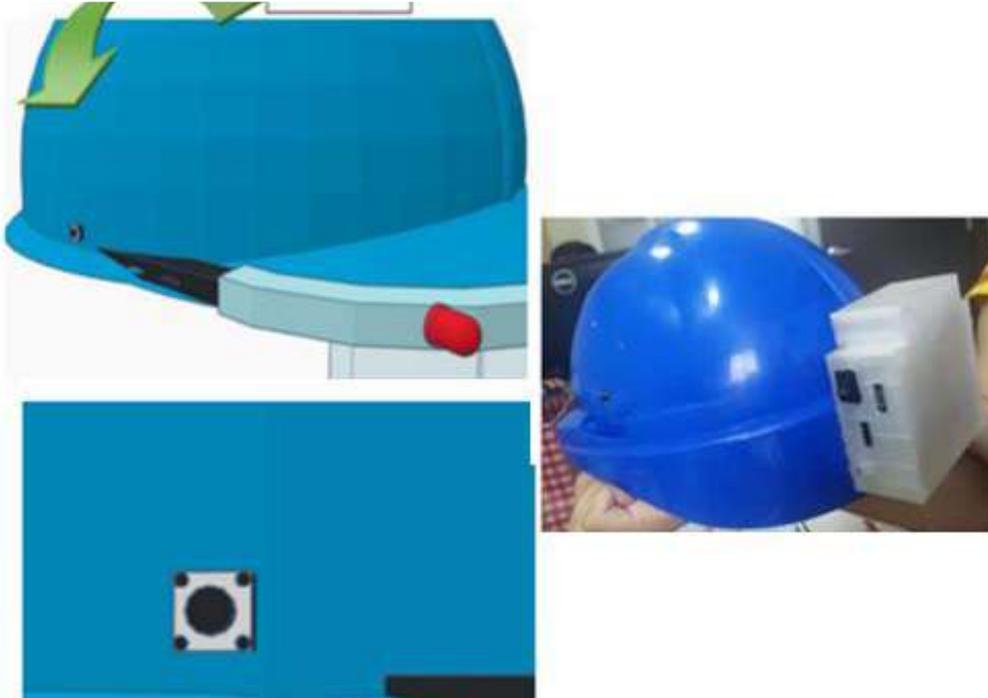
El dispositivo tiene un tiempo de respuesta de 1 segundo lo cual da tiempo al operador de reaccionar frente a las alarmas.

El dispositivo es portable y funciona por 8 horas consecutivas, que es la jornada laboral del operador.

Finalmente, el dispositivo es ergonómico y amigable con el usuario.



Recomendaciones



Tamaño del dispositivo

Tras las pruebas de ergonomía, 2 de los 5 encuestados recomiendan que para futuros prototipos del dispositivo de asistencia, el botón de reset sea más grande, debido a que no es fácil de encontrar.

**Gracias por su
atención**

