

# Fall alert system prototype for elderly people

## Prototipo de sistema de alerta de caídas para personas de la tercera edad

E. E. Velázquez-Cruz<sup>1</sup>, M. O. Moreno-Blanco<sup>\*1</sup>, and D. P. Martínez-Cancino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Chiapas (UP Chiapas),  
Carretera Tuxtla Gutiérrez. - Portillo Zaragoza Km 21+500. Col. Las Brisas; Suchiapa, Chiapas. CP.29150.  
{203759, 203082, dmartinez}@ib.upchiapas.edu.mx

### Abstract

The aging of the population is an important demographic phenomenon due to the improvement in healthcare and quality of life, which has increased life expectancy and proportion of elderly people in the population. Falls in older individuals are a public health problem. Devices such as the Portable Emergency Button, the Apple Watch, and the Hip-Hope have been developed to prevent and manage falls. The project presents a prototype of a fall alert system for the elderly that uses an accelerometer to detect falls and send alerts through a GSM device and a mobile application. The prototype includes electronic components such as Raspberry Pi Pico, MPU6050, NEO-6M v2, and SIM800L v2. To characterize falls, four distinct positions are established: 'Standing', 'Point of No Return', 'Impact', and 'Fall'. A mobile application were developed in Android Studio that allows users to receive alerts via SMS messages and securely store them in Firebase. The prototype integrates fall detection, geolocation, and alert sending through a Raspberry Pi Pico, and tests were conducted to evaluate its performance.

**Keywords**— Accelerometer, Gyroscope, GSM

### Resumen

El envejecimiento de la población es un fenómeno demográfico importante debido a la mejora de la atención médica y la calidad de vida, lo que ha aumentado la esperanza de vida y la proporción de personas mayores en la población. Las caídas en personas mayores son un problema de salud pública. Se han desarrollado dispositivos como el Botón de Emergencia Portátil, el Apple Watch y el Hip-Hope para prevenir y gestionar caídas. El proyecto presenta un prototipo de sistema de alerta de caídas para personas mayores que utiliza un acelerómetro para detectar caídas y enviar alertas a través de un dispositivo GSM y una aplicación móvil. El prototipo incluye componentes electrónicos como Raspberry Pi Pico, MPU6050, NEO-6M v2 y SIM800L v2. Para caracterizar las caídas, se establecen cuatro posiciones distintas: 'De pie', 'Punto de no retorno', 'Impacto' y 'Caída'. Se desarrolló una aplicación móvil en Android Studio que permite a los usuarios recibir alertas a través de mensajes SMS y almacenarlos de forma segura en Firebase. El prototipo integra la detección de caídas, geolocalización y envío de alertas a través de la Raspberry Pi Pico, y se realizaron pruebas para evaluar su rendimiento.

**Palabras clave**— Acelerómetro, Giroscopio, GSM

## I. Introducción

**E**l envejecimiento de la población se destaca como uno de los fenómenos demográficos más notables y significativos en nuestro tiempo. Con mejoras

en la atención médica y un aumento en la calidad de los entornos sociales y culturales, la esperanza de vida ha experimentado un notable crecimiento en décadas recientes. Esto ha resultado en un constante incremento en la proporción de personas mayores en la población a nivel global. Este cambio demográfico, plantea desa-

\* Autor de correspondencia

fíos sociales, económicos y de salud que requieren una atención cuidadosa [1].

Cuando se habla del proceso de envejecimiento, se refiere a una serie de cambios que ocurren naturalmente con el tiempo. Estos cambios son gradualmente continuos e irreversibles, afectando diversos aspectos biológicos, psicológicos y sociales de la vida de una persona [2].

Las caídas en personas mayores representan un importante problema de salud pública, ya que pueden resultar en lesiones graves, fracturas óseas, discapacidades a largo plazo e incluso la pérdida de vidas humanas. Además de las consecuencias físicas, las caídas pueden tener un impacto psicológico significativo, generando ansiedad y temor a futuras caídas, lo que puede reducir la calidad de vida y la independencia de las personas mayores [3].

Dada esta perspectiva, la prevención y gestión de caídas se han convertido en un área prioritaria de investigación y desarrollo tecnológico en el campo de la atención médica y el cuidado de personas mayores. Entre algunos avances que abordan este desafío se encuentran dispositivos como el Botón de Emergencia Portátil, un dispositivo en forma de pulsera o collar que emite alertas médicas al ser activado [4]. Además, el Apple Watch, un reloj inteligente equipado con un acelerómetro y giroscopio, puede detectar caídas y enviar alertas a contactos de emergencia o servicios médicos [5]. Otro ejemplo es el Hip-Hope, un cinturón que utiliza bolsas de aire similares a las de automóviles y sensores para detectar caídas y amortiguar el impacto en las caderas. Además, este dispositivo cuenta con una aplicación que envía alertas automáticas a contactos de emergencia y un botón de activación manual en caso necesario [6].

Si bien los dispositivos mencionados tienen ventajas significativas en la prevención y gestión de caídas en personas mayores, también presentan desventajas relacionadas como su costo, requisitos tecnológicos, posibles falsos positivos o negativos, privacidad de datos. Su mayor ventaja competitiva radica en el precio. Considerando que el costo de otras opciones oscila entre \$9,699 y \$20,443.70, el precio del prototipo, que es de \$2,233.33, presenta una amplia ventaja en términos de precio. Esto implica un ahorro sustancial para los consumidores, con un porcentaje de diferencia significativo que les permitiría ahorrar entre un 76.99% y un 89.07%. Este ahorro sustancial puede hacer que el prototipo sea una opción atractiva y accesible para un mayor número de personas mayores y sus familias, ampliando así el acceso a tecnologías innovadoras para la prevención y gestión de caídas.

En este contexto, se presenta un proyecto centrado en el desarrollo de un prototipo de sistema de alerta de caídas para las personas mayores. Este sistema no solo detecta caídas de manera temprana, sino que también ofrece una respuesta rápida y efectiva al alertar inmediatamente después de que ocurra una caída. Nuestro

enfoque se orienta hacia la rápida asistencia a la persona afectada. Al recibir una notificación inmediata de la caída, se facilita una respuesta ágil y oportuna para brindar ayuda, lo que contribuye significativamente a mitigar los riesgos asociados a las caídas en personas mayores.

El proyecto implementa la medición de la aceleración corporal y la inclinación del mismo utilizando un acelerómetro triaxial. Esto se emplea para detectar caídas y activar una alerta sonora, además de enviar una notificación a través de GSM hacia una aplicación móvil desarrollada en Android Studio. La notificación incluirá un enlace que permitirá visualizar la ubicación en tiempo real de la persona en la plataforma OpenStreetMap, información que será adquirida mediante un módulo GPS.

## II. Materiales y métodos

Para lograr el exitoso desarrollo del prototipo, se optó por una metodología basada en los desafíos específicos abordados durante su creación, la cual fue la que se muestra en la Fig. 1.

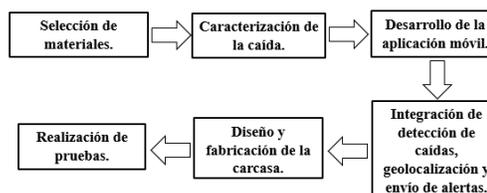


Figura 1: Diagrama del plan de la metodología.

### II.1. Selección de materiales

Para cumplir con el propósito del prototipo, se utilizaron componentes electrónicos comerciales, como:

- Raspberry Pi Pico: El dispositivo Raspberry Pi Pico, basado en el microcontrolador RP2040, juega un papel esencial en el control y la interconexión de los módulos empleados en el prototipo.
- MPU6050: Para la detección de caídas, se emplea el sensor MPU6050. Este sensor, clasificado como una Unidad de Medición Inercial (IMU), integra un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes, lo que permite medir y registrar con precisión el movimiento tridimensional y la orientación angular.
- NEO-6M v2: Para rastrear la ubicación, se utiliza el módulo NEO-6M v2, un receptor de señales que proporciona información precisa de geolocalización y se configura a través del puerto UART.

- SIM800L v2: Se integra el módulo SIM800L v2, un componente GSM/GPRS que facilita llamadas, envío de mensajes SMS y transferencia de datos por GPRS a través de redes móviles. Este módulo se comunica mediante UART y es compatible con diversas tarjetas SIM.

Adicionalmente, se incorporó un zumbador con el fin de generar una alerta sonora que llame la atención de personas cercanas y puedan auxiliar al individuo en caso necesario. Para asegurar la alimentación del prototipo, se emplearon un regulador de voltaje step-down LM2596 y un módulo cargador de baterías 18650 BMS 2S. Estos elementos se combinan de manera efectiva para dar lugar a una solución completa y funcional en el prototipo.

## II.2. Caracterización de la caída

En la programación de la Raspberry Pi Pico, se empleó el lenguaje MicroPython en conjunto con el IDE Thonny, esta elección se fundamenta en su facilidad de uso, capacidad de desarrollo rápido, versatilidad en la interacción con periféricos, eficiencia energética, flexibilidad y escalabilidad. Además, se aprovecha la comunidad activa de apoyo existente.

Para habilitar la funcionalidad del acelerómetro triaxial, se inició con la búsqueda de las librerías esenciales para su integración con la Raspberry Pi Pico. Se emplearon dos librerías fundamentales: *imu.py* y *vector3d.py*. La primera de estas, *imu.py*, se encargó de establecer la comunicación con el sensor y de recolectar los datos que proporcionaba. Por otro lado, la librería *vector3d.py* se encargó de procesar estos datos, transformándolos en información significativa y comprensible para su posterior utilización.

Tomando como referencia el estudio de Alejandro Díaz de Argandoña Araujo en el análisis de caídas [7], para caracterizar las caídas, se establecieron cuatro posiciones distintas: 'De pie', 'Punto de no retorno', 'Impacto' y 'Caída'. El propósito de esta división es permitir que el prototipo pueda distinguir caídas genuinas de otros movimientos. Para abordar esto, se debe considerar los tres ejes del acelerómetro triaxial:  $x$ ,  $y$  y  $z$  donde cada eje registra tanto la aceleración como un cierto ángulo de giro, como se observa en la Fig. 2.

En la posición 'De pie', la aceleración actúa únicamente en el eje  $z$ , ya que este se encuentra a favor de la gravedad ( $1\text{ G}$  o  $9.81\text{ m/s}^2$ ), mientras que en los ejes  $x$  y  $y$ , la aceleración es igual a  $0\text{ G}$ , ya que están en contra de la gravedad. Aunque en principio no debería haber inclinación en esta posición, se considera una rotación menor a  $20$  grados para evitar posibles falsas alertas. Esta medida se establece para cumplir con el criterio de esta posición.

Ahora bien, conforme el individuo esté sufriendo una

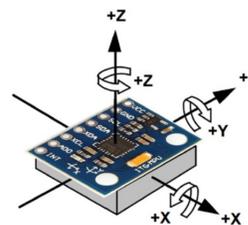


Figura 2: Ejes del acelerómetro triaxial MPU5060.  
Teléfono: 01961 61 71460.

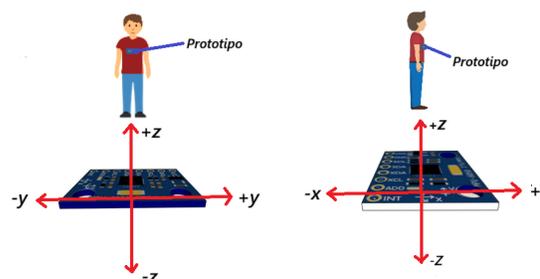


Figura 3: Orientación de la posición del individuo y el acelerómetro triaxial.

caída, su cuerpo tiende a inclinarse en un ángulo pronunciado, ya sea en el eje  $x$  o el eje  $y$ , es decir, hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados, en la Fig. 3 se observa la referencia de la orientación del individuo y el acelerómetro. Es en este momento que se llega a la posición denominada 'Punto de no retorno'. Este cambio en la inclinación del cuerpo conlleva a una disminución gradual en el valor de la aceleración en el eje  $z$ , acercándose a  $0\text{ G}$ , mientras que los valores de aceleración en el eje  $x$  y el eje  $y$  aumentan hasta alcanzar un pico. Es en este punto cuando se considera la posición de 'Impacto'.

Después de superar estas tres etapas, la aceleración en el eje  $z$  estará cerca de  $0\text{ G}$ , mientras que las aceleraciones en los ejes  $x$  y  $y$  habrán disminuido desde su punto máximo, pero aún serán distintas de  $0$ . Además, el ángulo de inclinación será aún más pronunciado. En este punto, se confirma la caída y se activa todo el sistema de alerta del prototipo.

Entendiendo lo anterior, se definieron los parámetros necesarios para distinguir cada posición. Para lograrlo, se utilizó el valor absoluto en cada uno de estos parámetros, lo que garantiza la detección precisa de la caída, independientemente de la dirección en la que se encuentre tanto la aceleración como la inclinación quedando como se muestra en la Fig. 4.

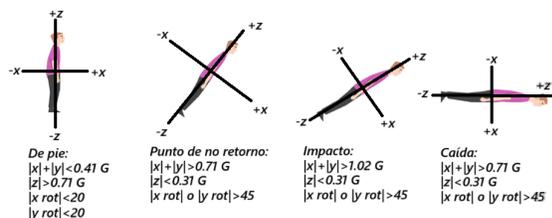


Figura 4: Parámetros establecidos para la caracterización de la caída.

### II.3. Desarrollo de la aplicación móvil

En la fase inicial, se definió claramente el propósito de la aplicación: proporcionar a los usuarios una solución efectiva para recibir alertas importantes a través de mensajes SMS y almacenarlos de forma segura en Firebase. Se eligió Android Studio como entorno de desarrollo debido a su robustez y facilidad para el desarrollo de aplicaciones móviles. El uso de Kotlin como lenguaje de programación se basó en su creciente popularidad y sus ventajas en términos de eficiencia y legibilidad del código.

El diseño de la interfaz de usuario (UI) se centró en crear una experiencia intuitiva y atractiva para el usuario. La pantalla principal presenta un ListView que muestra de manera organizada los mensajes SMS almacenados en Firebase.

Para garantizar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y privacidad, se implementó una solicitud de permisos que permite a la aplicación recibir y enviar SMS en el dispositivo, lo que asegura su correcto funcionamiento al interactuar con el sistema de mensajería del dispositivo.

Un aspecto importante del desarrollo fue la creación de un canal de notificación para mejorar la experiencia del usuario al recibir alertas. La conexión a Firebase se estableció para facilitar la comunicación efectiva entre la aplicación y la base de datos. Esto incluyó la creación de una referencia a la colección SMS en Firestore, donde se almacenan los mensajes recibidos.

La aplicación cuenta con una característica notable: el servicio en segundo plano denominado "MyService". Este servicio está diseñado para funcionar de manera ininterrumpida, incluso cuando la aplicación se encuentra cerrada o en segundo plano. Su función principal consiste en capturar los SMS entrantes, los cuales se almacenan automáticamente en Firebase. Esto asegura que los usuarios puedan recibir alertas en tiempo real sin importar el estado de la aplicación.

### II.4. Integración de detección de caídas, geolocalización y envío de alertas

El código en MicroPython que se ejecuta en la Raspberry Pi Pico integra la lectura del acelerómetro triaxial, el procesamiento de datos provenientes tanto del acelerómetro como del módulo GPS, y la capacidad de enviar las alertas por SMS, empleando dos tipos de protocolos de comunicación: I2C y UART. El protocolo I2C facilita la comunicación en una relación maestro-esclavo, haciendo que el acelerómetro triaxial envíe datos a la Raspberry Pi Pico en serie y sincrónica. Por otra parte, el protocolo UART permite enviar y recibir datos de manera asíncrona, estableciendo una comunicación punto a punto en el prototipo. A continuación, se detallan las acciones realizadas en el desarrollo:

1. Configuración inicial: El código importa los módulos necesarios, como *imu*, *machine*, *utime*, *time*, *I2C* y *Pin*, para la comunicación con sensores y dispositivos. Se configura la comunicación I2C para el sensor MPU6050, que se utiliza para detectar la aceleración y la orientación del dispositivo.
2. Configuración de UART: Se configuran dos objetos UART para la comunicación serial. Uno se utiliza para la comunicación con un módulo GPS (*gpsModule*), y el otro para futuros envíos de SMS (*uart0*).
3. Configuración de pines: Se definen objetos *Pin* para el zumbador, el botón y otros pines que pueden estar conectados a dispositivos externos.
4. Variables globales: Se inicializan diversas variables globales para controlar el estado del prototipo, como la detección de caídas, el estado del GPS y la ubicación.
5. Función para obtener datos de GPS: La función *getGPS(gpsModule)* se ejecuta en un hilo independiente y se encarga de leer datos del módulo GPS. Recopila información sobre la latitud y longitud, y establece el estado de *FIX-STATUS* si los datos son válidos. También gestiona el tiempo de espera (*TIMEOUT*) si no se pueden obtener datos válidos.
6. Funciones para convertir datos GPS: Las funciones *convertToDegree* y *generateGPSLink* se utilizan para convertir datos GPS en un formato más legible y para generar un enlace a un mapa en línea con las coordenadas GPS.
7. Funciones de comunicación serial: Las funciones *sendCMD-waitResp* y *waitResp* se utilizan para enviar comandos AT a través de la comunicación serial y esperar una respuesta.
8. Funciones de lectura y procesamiento de datos del acelerómetro: Las funciones *data-reading* y *process-sensor-data* se encargan de leer y procesar datos del sensor MPU6050. Estas funciones determinan si se ha detectado una caída y activan el zumbador y el envío de SMS en caso de una caída confirmada.

9. Hilo para la lectura del GPS: Se inicia un hilo (*gps-reading-thread*) para la lectura continua de datos GPS y su procesamiento. Si se obtienen datos válidos, se actualiza la ubicación.
10. Bucle principal: El bucle principal controla la lectura de datos del sensor y el procesamiento. Si se detecta una caída, se activa el zumbador y se envía un SMS con la ubicación actual del dispositivo.

## II.5. Diseño y fabricación de la carcasa

La carcasa se elaboró de forma rectangular con dimensiones específicas para acomodar de manera óptima los componentes necesarios el diseño se muestra en la Fig. 5. Las medidas de la carcasa son las siguientes:

- Tamaño total de la carcasa: 9.6 cm de ancho, 15 cm de alto y 3.6 cm de profundidad.
- Tapa de la carcasa: Con dimensiones de 9.6 cm de ancho por 15 cm de alto y un espesor de 6 mm.
- Interior de la carcasa: Se divide en dos compartimentos principales. El primero, destinado a la placa PCB, tiene medidas de 8.8 cm de ancho, 9.5 cm de alto y 3.3 cm de profundidad. El segundo, destinado al portapilas, mide 7.6 cm de ancho, 4.8 cm de alto y 3.3 cm de profundidad.

Además, se incorporaron elementos funcionales en la carcasa como se muestra en las figuras 6 y 7:

- En los laterales de la carcasa se realizaron dos agujeros, uno con un diámetro de 1.4 cm para el interruptor de encendido y otro de 1.3 cm para el botón de apagado de la alerta.
- Se creó un espacio específico para la antena GSM con un diámetro de 5 mm.
- Se diseñó un alojamiento con medidas de 3.8 cm de ancho, 1 cm de alto y 1 cm de profundidad para la antena GPS.
- Para garantizar la resistencia de la carcasa, se incorporaron cuatro orificios de 3 mm de diámetro y 3 cm de profundidad en cada esquina, donde se pueden colocar tornillos de fijación.
- Se incluyeron dos huecos de 3.8 cm de ancho y 1 cm de alto para la sujeción de las correas de los broches, que permitirán ajustar la carcasa al cuerpo del usuario.
- Se incluyó una serie de orificios en los laterales con el propósito de proporcionar ventilación al circuito.

La elección de utilizar PLA (Ácido poliláctico) [8] para la impresión de la carcasa se basó en varios factores clave. En primer lugar, por su facilidad de impresión, lo que garantizó que el proceso de fabricación se llevara a cabo sin complicaciones innecesarias. Además, el peso del prototipo fue otro aspecto esencial a considerar. Optar

por el PLA ayudó a mantener el prototipo lo más liviano posible, lo que es especialmente crucial en un dispositivo diseñado para alertar en casos de caídas.

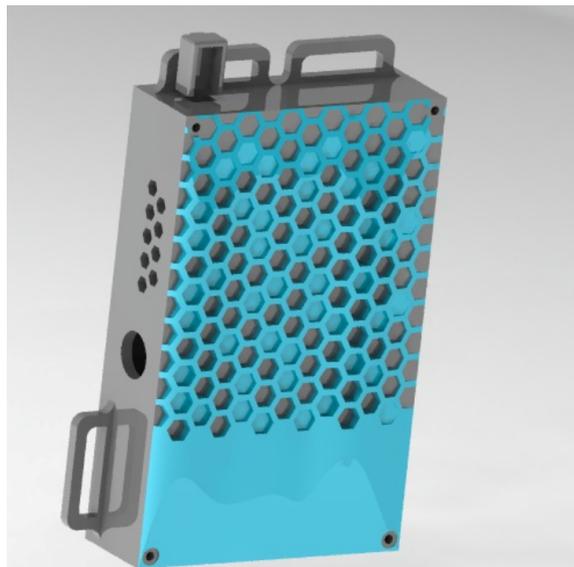


Figura 5: Diseño de la carcasa del prototipo en SolidWorks.



Figura 6: Diseño interior de la carcasa del prototipo en SolidWorks.

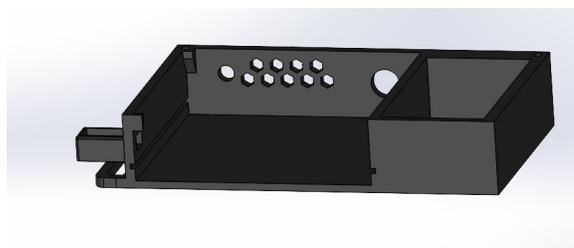


Figura 7: Diseño lateral de la carcasa del prototipo en SolidWorks.



Figura 8: Usuario portando el prototipo.

### II.6. Realización de pruebas

Se desarrollaron dos tipos de pruebas para la evaluación del prototipo. La primera prueba implica la simulación de caídas desde diversas posiciones, incluyendo caídas hacia adelante, hacia atrás y hacia los lados (izquierda o derecha). El propósito de esta prueba es evaluar la capacidad del prototipo para detectar caídas auténticas en diversas circunstancias, como se observa en la Fig. 8.

La segunda prueba se centra en simular movimientos cotidianos que las personas realizan en su vida diaria, como caminar, sentarse, inclinarse, recostarse y levantarse. El objetivo aquí es determinar si el prototipo puede distinguir estos movimientos de una caída. Durante ambas pruebas, se supervisará la ubicación desde la cual se generan las alertas del prototipo y se comparará con la ubicación real. Este enfoque de prueba exhaustiva permite una evaluación del desempeño del dispositivo en situaciones prácticas.

### III. Resultados

Se realizaron un total de 91 caídas en la primera prueba, distribuidas entre las tres posiciones evaluadas. Durante estas pruebas, se registró si se activó la alerta y se midió el tiempo transcurrido desde la detección de la caída hasta la recepción de la notificación en la aplicación móvil. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas 1, 2 y 3.

Utilizando los datos de la primera prueba, se realizaron los cálculos para determinar el tiempo promedio en que el prototipo tarda en enviar la alerta a la aplicación móvil una vez detectada la caída del individuo. Se obtuvo de 15.43 segundos con una desviación estándar de 0.8 segundos.

La segunda prueba se llevó a cabo registrando tanto el tiempo como la frecuencia de los movimientos realizados, así como la cantidad de veces que se activó la alerta. El propósito de esto fue evaluar la tendencia del prototipo a generar falsos positivos. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Como se mencionó anteriormente, durante estas pruebas, se registraron las ubicaciones proporcionadas por

Tabla 1: Caídas hacia adelante.

Número de prueba	Detección	Tiempo de respuesta
1	No	No aplica
2	Sí	14 segundos
3	Sí	15 segundos
4	Sí	13 segundos
5	No	No aplica
6	No	No aplica
7	Sí	16 segundos
8	No	No aplica
9	Sí	16 segundos
10	Sí	16 segundos
11	No	No aplica
12	No	No aplica
13	No	No aplica
14	Sí	16 segundos
15	Sí	15 segundos
16	Sí	16 segundos
17	Sí	16 segundos
18	Sí	16 segundos
19	No	No aplica
20	No	No aplica
21	Sí	15 segundos
22	No	No aplica
23	No	No aplica
24	No	No aplica
25	No	No aplica
26	Sí	14 segundos
27	Sí	16 segundos
28	Sí	16 segundos
29	No	No aplica
30	Sí	16 segundos

el prototipo en caso de activación de la alerta, con el propósito de compararlas con las ubicaciones reales. Para ello, se realizó una prueba *t* pareada, con el objetivo de evaluar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los datos de latitud y longitud proporcionados por el prototipo y los valores reales.

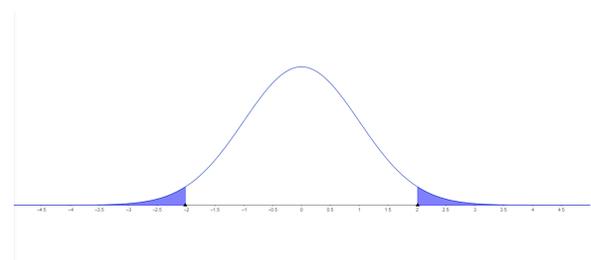


Figura 9: Distribución gaussiana para los valores críticos establecidos.

Se determinó que los valores críticos tanto para la latitud como la longitud, es de 2.0128925 como se muestra en la Fig. 9. Al comparar este valor con los estadísticos

Tabla 2: Caídas hacia atrás.

Número de prueba	Detección	Tiempo de respuesta
1	No	No aplica
2	No	No aplica
3	No	No aplica
4	No	No aplica
5	Sí	16 segundos
6	No	No aplica
7	Sí	15 segundos
8	Sí	16 segundos
9	No	No aplica
10	Sí	16 segundos
11	No	No aplica
12	No	No aplica
13	No	No aplica
14	Sí	15 segundos
15	No	No aplica
16	No	No aplica
17	No	No aplica
18	No	No aplica
19	No	No aplica
20	Sí	16 segundos
21	Sí	16 segundos
22	No	No aplica
23	Sí	15 segundos
24	No	No aplica
25	No	No aplica
26	No	No aplica
27	No	No aplica
28	No	No aplica
29	Sí	15 segundos
30	No	No aplica

Tabla 3: Caídas de costado.

Número de prueba	Detección	Tiempo de respuesta
1	Sí	15 segundos
2	Sí	15 segundos
3	Sí	16 segundos
4	Sí	16 segundos
5	Sí	15 segundos
6	No	No aplica
7	Sí	16 segundos
8	Sí	16 segundos
9	No	No aplica
10	Sí	16 segundos
11	Sí	14 segundos
12	Sí	16 segundos
13	Sí	15 segundos
14	No	No aplica
15	No	No aplica
16	Sí	15 segundos
17	Sí	15 segundos
18	Sí	16 segundos
19	Sí	16 segundos
20	Sí	16 segundos
21	No	No aplica
22	Sí	13 segundos
23	Sí	15 segundos
24	Sí	15 segundos
25	No	No aplica
26	No	No aplica
27	No	No aplica
28	No	No aplica
29	Sí	16 segundos
30	Si	16 segundos
31	Si	16 segundos

obtenidos, se observó que el valor  $t$  para la latitud fue de  $-1.5389681$ , mientras que para la longitud fue de  $-0.0772951$ . Esto indica que ambos valores estadísticos se encuentran por debajo del valor crítico, sugiriendo así que no existe una diferencia significativa entre los valores de latitud y longitud proporcionado por el prototipo y los valores reales.

#### IV. Discusión

Los resultados obtenidos del prototipo revelan relaciones significativas entre la activación del sistema y los parámetros utilizados para caracterizar las caídas a través del acelerómetro triaxial. Sin embargo, estas relaciones varían considerablemente dependiendo de la dirección de la caída.

Específicamente, se observó que las caídas laterales demostraron una efectividad del 70.97%, lo que indica que el prototipo es notablemente confiable en la detección de este tipo de caídas. En contraste, las caídas frontales alcanzaron un porcentaje de efectividad del 53.33%.

Tabla 4: Movimientos distintos a la caída.

Movimiento	Duración	Veces detectadas
Caminar	5 minutos	Ninguna
Sentarse	15 veces	2 veces
Inclinarse	15 veces	5 veces
Recostarse	15 veces	Ninguna
Levantarse	15 veces	Ninguna

Aunque este resultado es positivo, también sugiere que existen oportunidades de mejora para perfeccionar la detección de caídas en esta dirección.

Por otro lado, las caídas hacia atrás representaron un desafío mayor, con una efectividad del 30%. Estos resultados indican que el prototipo enfrenta dificultades para detectar adecuadamente las caídas en esta dirección. En términos generales, el prototipo cuenta con una sensibilidad del 51.65%.

La principal causa de estas diferencias podría atribuirse al hecho de que la suma de las aceleraciones en los

ejes  $x$  y  $y$  no alcanza los valores predeterminados en la programación del prototipo, ya que en la realidad, estas aceleraciones son más elevadas de lo que se experimenta en una caída genuina.

En cuanto al tiempo de respuesta desde el momento de la detección hasta la recepción de la alerta en la aplicación móvil, que es de  $15.43 \pm 0.8$  segundos. Es resultado prometedor y sugiere que el prototipo es capaz de enviar alertas en un tiempo razonable, lo que es crucial para brindar asistencia oportuna a la persona afectada.

## V. Conclusiones

El envejecimiento natural puede disminuir las habilidades de equilibrio, fuerza y agilidad, aumentando el riesgo de caídas [9]. El desarrollo tecnológico dirigido al cuidado de los adultos mayores representa un paso significativo hacia la mejora de la calidad de vida y la seguridad de este segmento de la población.

El empleo de prototipos como el mencionado, que emplea un acelerómetro triaxial para la detección de caídas, evidencia el potencial que tiene la tecnología para abordar problemas críticos asociados al envejecimiento, como el riesgo de caídas.

Aunque se enfrentan desafíos, como el tiempo de respuesta para enviar alertas, estos avances son prometedores y muestran un firme compromiso con la innovación tecnológica para mejorar el bienestar de los adultos mayores.

Es fundamental reconocer que este progreso es solo el comienzo. Es imperativo continuar refinando y perfeccionando estas tecnologías para abordar de manera efectiva las necesidades cambiantes y variadas de las personas mayores.

Esto implica una inversión continua en investigación y desarrollo en este campo, así como una colaboración activa entre la comunidad científica, los profesionales de la salud y la industria tecnológica.

En última instancia, el desarrollo de tecnologías orientadas al cuidado de los adultos mayores refleja un compromiso con la dignidad y la calidad de vida de esta población en crecimiento. Persistir en este trabajo es esencial para garantizar un proceso de envejecimiento saludable, seguro y digno para todos los adultos mayores, y para construir un futuro donde la edad avanzada se viva con independencia y plenitud.

## Referencias

[1] Naciones Unidas. «Envejecimiento | Naciones Unidas». En: URL: [https://www.un.org/es/global-issues/ageing#:~:text=Tendencias%20en%20el%20envejecimiento%20de%20la%20poblaci%C3%B3n&text=Seg%C3%BAn%20datos%20del%20informe%20%22Perspectivas%20de%20este%20a%C3%B1o%20\(2019-2025\)](https://www.un.org/es/global-issues/ageing#:~:text=Tendencias%20en%20el%20envejecimiento%20de%20la%20poblaci%C3%B3n&text=Seg%C3%BAn%20datos%20del%20informe%20%22Perspectivas%20de%20este%20a%C3%B1o%20(2019-2025)).

- [2] Instituto Nacional de las Mujeres. «Situación de las personas adultas mayores en México». En: URL: [http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos\\_download/101243\\_1.pdf](http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/101243_1.pdf).
- [3] Lucélia Terra Jonas. «Evaluación del riesgo de caídas en las personas mayores: ¿cómo hacerlo?» En: URL: <https://dx.doi.org/10.4321/S1134-928X2014000100004>.
- [4] Alarmas para Casa. «Pulsador emergencia personas mayores - Alarmas para Casa». En: URL: <https://alarmas-para-casa.com.es/accesorios/187-pulsador-emergencia-personas-mayores.html>.
- [5] Ruth Macarrón. «Las nuevas funcionalidades del Apple Watch para mayores». En: URL: [https://www.65ymas.com/sociedad/tecnologia/nuevas-funcionalidades-del-apple-watch-perfectas-para-mayores\\_4890\\_102.html](https://www.65ymas.com/sociedad/tecnologia/nuevas-funcionalidades-del-apple-watch-perfectas-para-mayores_4890_102.html).
- [6] ISRAEL21c. «Hip-Hope amortigua las caídas para prevenir fracturas en personas mayores». En: URL: <https://www.consuladodeisrael.com/2017/06/29/hip-hope-amortigua-las-caidas-para-prevenir-fracturas-en-personas-mayores/>.
- [7] Alejandro Díaz de Argandoña Araujo. «Sistemas de revención de caídas para estructuras bípedas y autónomas». En: URL: <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/422874/retrieve>.
- [8] Gladys Herryman Munilla Maribel; Blanco Carraedo. «Ácido láctico y poliláctico: Situación actual y tendencias». En: URL: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659007.pdf>.
- [9] Carlos Celis-Morales Yeny Concha-Cisternas Rodrigo Vargas-Vitoria. «Cambios morfofisiológicos y riesgo de caídas en el adulto mayor: una revisión de la literatura». En: URL: <https://www.redalyc.org/journal/817/81769337009/html/>.