



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA DE CAÍDAS PARA ADULTOS MAYORES
MEDIANTE IOT**

Realizado por:

Karol Julissa Moya Yáñez

Director del Proyecto:

M.Sc Diego Fernando Bustamante Villagómez. Ing.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título Master en diseño industrial y de procesos

Quito, 5 de Octubre de 2022

Declaración juramentada

Yo, Karol Julissa Moya Yánez, con cedula de identidad 020187189-4, declaro bajo juramento la veracidad del trabajo aquí desarrollado consignado con el título “sistema de monitoreo y alerta de caídas para adultos mayores mediante IoT”, ya que es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este mismo documento.

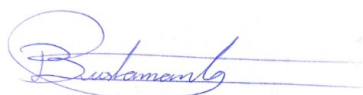


Karol Julissa Moya Yánez

C.I. 020187189-4

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.




M.Sc Diego Fernando Bustamante Villagómez

LOS PROFESORES INFORMANTES:

PhD. Javier Martínez Gómez

PhD. Marcelo García

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.



PhD. Javier Martínez Gómez

PhD. Marcelo García

Quito, 5 de Octubre de 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karol Julissa Moya Yáñez', is written over a horizontal line.

Karol Julissa Moya Yáñez

C.I. 020187189-4

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo principalmente a Dios, quien inspiro mi espíritu para continuar en este proceso de obtener un anhelo deseado.

A mis padres quienes fueron un gran apoyo emocional y psicológico durante el tiempo que escribía la misma.

A mi hija por ser el motor y pilar fundamental en mis decisiones, a mi novio quien me apoyo constantemente para permanecer, cuando parecía que me iba a rendir.

A mis amigos que siempre me extendieron una mano para apoyarme en todo momento y brindarme un café cuando era necesario.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida, la salud, por guiarme en toda mi trayectoria, ser el apoyo y fortaleza en momentos de debilidad y angustia.

A la Universidad Internacional SEK y especialmente al M.Sc. Diego Bustamante por el apoyo y enseñanzas brindadas a lo largo de la realización del trabajo de titulación y de la carrera.

A mis padres por estar siempre a mi lado, por los consejos, valores y principios inculcados, por el apoyo que siempre me han brindado, por su sacrificio, ejemplo de superación inalcanzable.

A Isabella, mi hija por ser la fuente de inspiración y lucha de superación, que a pesar de su corta edad me ha apoyado para seguir estudiando con sus palabras y abrazos de aliento.

A Enrique por ser un apoyo moral y emocional de forma incondicional en este trayecto y a mis amigos especialmente Elizabeth Reyes y Christian Masabanda que de cualquier forma siempre estuvieron presentes en esta trayectoria sosteniendo mi mano y dándome aliento.

Al culminar esta etapa quiero expresar mi gratitud para todos quienes aportaron con su apoyo, ayuda, comprensión y demás; me alentaron a lograr esta hermosa meta.

Resumen

El presente Proyecto de Titulación tiene como objetivo principal, el Diseño de un Sistema de Monitoreo que permita la detección de caídas en adultos mayores, mediante alarmas o notificaciones en la nube, para favorecer una respuesta inmediata de atención médica.

Se fabricó un prototipo comenzando con la selección de sensores adecuados, adaptados para la medición de fuerzas G que obtienen la información necesaria para detectar una caída. Esta información es procesada por una tarjeta microcontroladora y a través de un protocolo de comunicación inalámbrica es enviada a la nube, donde finalmente se generará la notificación mediante la plataforma de IoT, “Ubidots”.

La plataforma notifica al correo electrónico proporcionado por el familiar o cuidador del paciente. Cabe mencionar que el primer paso para el uso del prototipo es el ingreso de los datos personales e información relevante del paciente, con la intención de que pueda usarse en atenciones médicas posteriores.

Los resultados obtenidos fueron validados mediante métodos estadísticos para calcular la varianza de los datos tomados y obtener el error del prototipo. El equipo presenta 24.4% de error en la lectura de datos por lo que se concluye que es confiable, además, presenta una ventaja económica con un valor mínimo, en comparación con otros similares existentes en el mercado.

Palabras claves: Ubidots, Internet de las cosas IoT, Comunicación inalámbrica.

Abstract

The aim of this Thesis Project is to design a Monitoring System that allows Falls Detection in Older Adults, through alarms or notifications in the cloud that help providing an immediate medical attention.

A prototype was built beginning with the selection of suitable sensors, adapted for the measurement of G forces that obtain the necessary information to detect a fall. This information is processed by a microcontroller card and through a wireless communication protocol, it is sent to the cloud where the notification will finally be generated through the IoT platform, "Ubidots".

The platform notifies the email provided by the patient's family member or caregiver. It is worth mentioning that the first step to use the prototype is the entry of personal data and relevant information of the patient, with the intention that it could be useful in subsequent medical care.

The results were validated using statistical methods to calculate the variance of the data and obtain the error of the prototype. The equipment has a 24.4% data reading error, so it is possible to conclude that it is reliable, in addition, it has an economic advantage with a minimum value compared to other, similar ones on the market.

Key words: Ubidots, Internet of things IoT, wireless communication.

Tabla de contenido

Declaración juramentada	2
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Lista de figuras.....	13
Lista de tablas	14
Capítulo I	16
Generalidades.....	16
Introducción	16
Antecedentes.....	16
Planteamiento del problema	18
Justificación.....	18
Hipótesis	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Capítulo II.....	20
Estado del Arte.....	20
Monitoreo de signos.....	20
Sistemas automatizados que utilizan IoT	23
Capítulo III.....	25

	11
Metodología	25
Diseño del sistema en base a la función de calidad	25
Matriz de calidad QFD	26
Sistemas y Subsistemas	27
Sistema de detección de caídas	27
Sistema de transmisión de datos	30
Cinemática del sistema	38
Sistema detector de caídas	39
Capítulo IV.....	42
Resultados y discusión	42
Discusión	46
Capítulo V.....	47
Conclusiones	47
Recomendaciones.....	48
Trabajos Futuros.....	49
Referencias.....	50
Anexos	53
Anexo A	53
Anexo B.....	58
B1: Hoja técnica MPU6050	58
B2: Hoja técnica ESP8266ex	59

Anexo C – conexión eléctrica	60
------------------------------------	----

Lista de figuras

Figura 1. Tipos de sistemas detectores de caídas.....	21
Figura 2. Arquitectura del hogar inteligente basado en IoT	23
Figura 3. Capas de arquitectura	24
Figura 4. Esquema de la transferencia de datos	37
Figura 5. Diagrama de flujo del sistema	37
Figura 6. Diagrama de cuerpo libre	38
Figura 7. Diagrama esquemático de conexión.....	40
Figura 8. Registro del valor en la plataforma Ubidots.....	40
Figura 9. Alarma en la plataforma de Ubidots.....	41
Figura 10. Correo de comprobación de la alarma generada	41
Figura 11. Gráfico de barras de la tabla de errores	44

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz QFD.....	27
Tabla 2. Sensores para detectar caídas.....	28
Tabla 3. Matriz de selección de criterios para identificar el sensor detector de caídas.....	29
Tabla 4. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio rango de medidas.....	29
Tabla 5. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio que no sea invasivo.....	29
Tabla 6. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio que sea compacto.....	29
Tabla 7. Tabla de ponderaciones finales de sensores detector de caídas.....	30
Tabla 8. Características de los diferentes sistemas de transmisión.....	30
Tabla 9. Alternativas de tarjetas microcontroladoras con WiFi.....	31
Tabla 10. Matriz de selección de criterios para identificar la tarjeta microcontroladora.....	32
Tabla 11. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio dimensiones.....	32
Tabla 12. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de la frecuencia.....	32
Tabla 13. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de la Data RAM.....	32
Tabla 14. Tabla de ponderaciones finales de sensores detector de caídas.....	33
Tabla 15. Alternativas de protocolos para IoT.....	33
Tabla 16. Matriz de selección de criterios para seleccionar el protocolo de comunicación...	34
Tabla 17. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio modelo.....	35
Tabla 18. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de ancho de banda.....	35
Tabla 19. Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de funcionalidad.....	35
Tabla 20. Tabla de ponderaciones finales de sensores detector de caídas.....	35
Tabla 21. Alternativas de plataformas para IoT.....	36
Tabla 22. Resultados experimentales persona de prueba 1.....	42
Tabla 23. Resultados experimentales persona de prueba 2.....	42
Tabla 24. Resultados experimentales persona de prueba 3.....	43

Tabla 25. Resultados experimentales persona de prueba 4.....	43
Tabla 26. Resultados experimentales persona de prueba 5.....	44
Tabla 27. Resumen de errores en los distintos personajes de prueba.....	44
Tabla 28. Resumen de Costos.....	46

Capítulo I

Generalidades

Introducción

Antecedentes

Los adultos mayores son los más propensos a sufrir caídas y, en muchos casos, no están acompañados cuando esto ocurre, por lo que son parte de la población más vulnerable del país (Barillaro et al., 2016; Tobar Escudero et al., 2021). Asimismo, se ha comprobado que las personas de la tercera edad tienen necesidades y demandas similares a las de personas de otras edades, es decir, requieren tecnología funcional, significativa y, sobre todo, útil para facilitar y ayudar a un envejecimiento adecuado, por ello, surge la gran necesidad de buscar una solución para apoyar a este segmento de la población y, tal como lo afirma (Espinosa Apolo & Orellana Guayas, 2021; Rahaman et al., 2019), lograr que las personas adultas mayores tengan una vida más independiente y puedan realizar normalmente sus actividades.

El cuidado del adulto mayor no solo está centrado en medicamentos y monitoreo de signos vitales a manera de prevenir enfermedades, también es relevante conocer los imprevistos que pueden sufrir como una caída desde una escalera, un mal salto, o incluso un paso mal realizado en una caminata que provoque una caída. Un estudio realizado por el Ministerio de Salud de Colombia (MSC) determina que las caídas son la principal causa de muertes accidentales de los adultos mayores de su población nacional.

A manera de colaboración a los diferentes casos fortuitos que pueden sufrir los adultos mayores y con el fin de facilitar su vida, (Yang & Rhee, 2015) crearon el dispositivo “SmartStep” que consta de sensores de presión, acelerómetro 3D, un giroscopio 3D integrados en un sistema CC2540 y cuenta con una plantilla que tiene incrustado un chip para monitorear las actividades y el estado de salud las 24 horas del día.

Asimismo, (Lousado & Antunes, 2020; Sanmartín Mendoza et al., 2016) y, establecen una tabla comparativa de dispositivos de monitoreo de salud basados en Internet of Things (IoT), mismo que desde el año 2015 ha realizado varios dispositivos con componentes principales en común como el sensor de presión arterial, sensor de peso, modulo WiFi, sensor de latidos, sensor de temperatura, sensor ambiental, Radio Frequency Identification (RFID), sensor de voz, micrófono, etc., con el fin de lograr una transmisión más rápida de datos, pero recalando la necesidad de usar la raspberry pi y un módulo Long Range (LoRa). Existen sensores de gama alta para detección de problemas auditivos, pulso rápido, sensor de temperatura y demás, sin embargo, cada dispositivo tiene funciones específicas a cumplir, como la detección de enfermedades cardíacas, anomalías en el corazón, problemas respiratorios, entre otros, pero al intentar su uso simultaneo no se logra tener una lectura idónea.

Complementariamente, (Lim et al., 2014), explica sobre la vanguardia de los sensores en el cuidado de la salud y la proyección que se tiene con la inteligencia artificial para mejorar y reducir costos en atención medica; los mencionados sensores son ambientales, fisiológicos y biocinéticos, los cuales pueden estar divididos en activos o pasivos, siendo activo o “actuador” de acuerdo al valor detectado y produciendo alguna acción como dispensar algún medicamento. El autor propone la calidad de atención médica y permitir a los investigadores acceder a datos que no están disponibles en la actualidad para mejorar la comprensión del cuerpo humano y las anomalías que se presenten.

En base a lo mencionado, el adulto mayor posee varias necesidades que ya han sido cubiertas con el uso de nuevas tecnologías, sin embargo, con fin de brindar una atención médica oportuna ante el aviso de alerta emitido gracias a la detección automática de una caída fortuita, el presente trabajo de titulación propone diseñar un sistema de monitoreo que permita la detección de caídas en adultos mayores mediante alarmas de visualización en la nube para incrementar la calidad de vida y el rendimiento en la salud de la población

perteneciente a la tercera edad. Para tal fin, se utilizó Ubidots para generar la alarma y permitir que llegue un correo electrónico a la enfermera o familiar cuidador del adulto mayor.

Planteamiento del problema

Los diferentes sistemas de alerta y monitoreo de emergencias en personas de la tercera edad que son utilizados actualmente generan alarmas locales que no informan a cuidadores y/o familiares, por ello, es necesario el uso de la tecnología IoT para brindar alertas en tiempo real y de forma remota para una asistencia médica inmediata, pues en una caída, la calidad de vida de un adulto mayor baja e incluso puede provocar su muerte, siendo necesario otorgar un monitoreo permanente a sus signos vitales y generar el envío de una alerta de emergencia en caso que la persona haya sufrido una caída y acudir a su pronto socorro.

Justificación

Con el continuo crecimiento de la sociedad, los problemas de seguridad afectan significativamente a los adultos mayores, pues según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Minh Dang et al., 2019), se estima que para el año 2054, el 18 % de la población de Ecuador sea de adultos mayores, porcentaje que refleja al segmento más vulnerable debido a sus necesidades físicas, psicológicas y cognitivas, recalando que, según (Lim et al., 2014; Xu et al., 2021), cada año más de un tercio de personas mayores de 65 años tienen al menos un accidente por caídas, lo que representa el 40 % de las muertes por lesiones, pues los autores mencionan que si después de la caída involuntaria, el adulto mayor permanece en el suelo durante más de una hora, la probabilidad de muerte en los siguientes seis meses asciende a 50 %.

Es por esto que, en la actualidad la creación de nuevas formas de cuidado, su introducción al IoT y su incorporación en diferentes aplicaciones dentro del hogar y la vida diaria,

revolucionan y aportan de forma vital la calidad de vida de los adultos mayores, teniendo en cuenta que las aplicaciones de IoT, además de ser los protagonistas para dispositivos de asistencias médicas, tienen una gran aplicabilidad en muchos campos como la agricultura, domótica, seguridad, salud, etc., al permitir una conexión directa entre dispositivos.

Hipótesis

Con base a los objetivos que se mencionan a continuación, el presente trabajo de titulación busca responder a la pregunta ¿en qué aportaría a la sociedad la creación de un dispositivo de monitoreo en tiempo real? Se desea identificar las fuerzas G que interviene en las caídas con la finalidad de diferenciar un cambio de posición planificada como acostarse, levantarse, ponerse de rodillas, etc., en comparación con las caídas que ocurren de forma fortuita y bruscas, generando una alarma y el monitoreo del sujeto de prueba con la finalidad de tener una evaluación médica en tiempo real mediante tecnologías IoT.

Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo que permita la detección de caídas en adultos mayores mediante alarmas de visualización en la nube para otorgar una respuesta inmediata de atención médica.

Objetivos Específicos

- Definir la tarjeta controladora adecuada para las necesidades del proyecto.
- Identificar las fuerzas G presente en una caída para su posterior análisis a través de un acelerómetro.
- Digitalizar los datos obtenidos por los sensores para su posterior procesamiento.
- Programar una alarma de aviso para las personas cercanas al adulto mayor como familiares o cuidadores.

Capítulo II

Estado del Arte

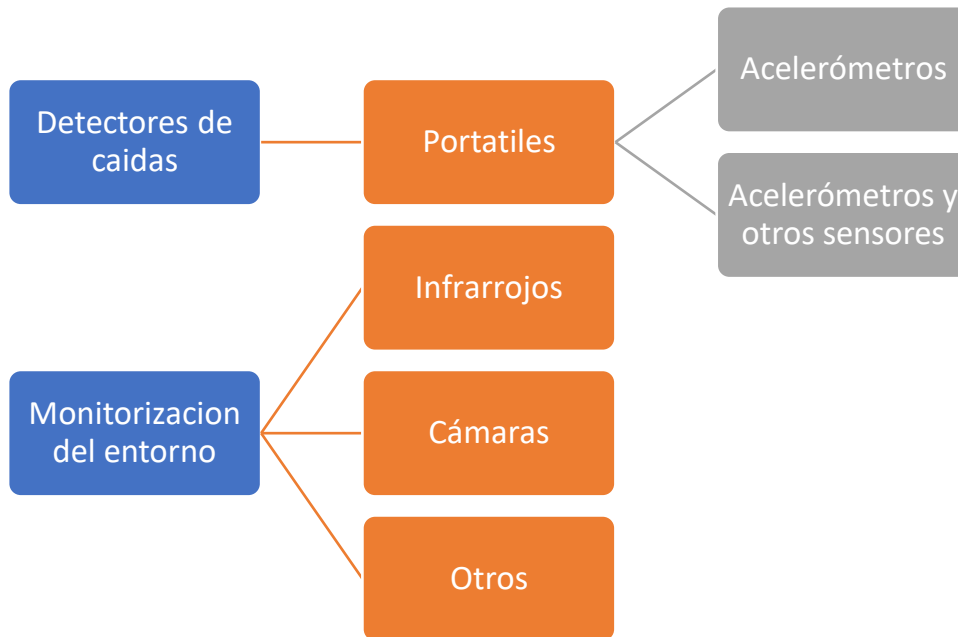
Monitoreo de signos

En los estudios realizados por (Lim et al., 2014; Yacchirema et al., 2019) , afirman que las caídas representan un riesgo en la salud del adulto mayor, pues una caída que no sea asistida a tiempo puede causar cierto deterioro funcional como disminución o pérdida de la movilidad, independencia y calidad de vida. Las caídas se consideran graves cuando se permanece en el suelo durante periodos largos de tiempo sin respuestas positivas a movimientos o reacción.

(Tobar Escudero et al., 2021) menciona que, en los últimos años, la aplicación de sistemas de vigilancia en hospitales ha aumentado y ha avanzado de forma considerable, teniendo como principal progreso el seguimiento de la salud de los pacientes, utilizando equipos de telecomunicaciones que permite tener un control en tiempo semi real de forma remota. Inclusive (Ngonadi, 2018; Swaroop et al., 2019) mencionan también que se necesitan sistemas de telemedicina para ayudar a tener mayor control sobre las personas de edad avanzada, enfocándose más a las personas que viven solas en sus casas o en algún centro especializado en cuidados para los mismos.

Se considera una clasificación de detectores de caída en personas de edad avanzada a partir de una revista de geriatría y gerontología que, según (González et al., 2015), cuenta con dos enfoques principales para resolver el problema, mismos que se pueden observar en la *Figura 1*, donde todos los sensores van orientados respecto a la condición de salud del paciente, así como también al enfoque que se necesita dar.

Figura 1.
Tipos de sistemas detectores de caídas



Nota. Tomado de (González et al., 2015)

Mientras tanto en (Yang & Rhee, 2015), se presenta un dispositivo de monitoreo telemedida miniaturizado que tiene una forma de anillo. El dispositivo, llamado “Sensor de Anillo”, está diseñado para que un paciente lo lleve en todo momento monitoreando el estado de salud del mismo las 24 horas del día. El anillo está equipado de tecnología de oximetría, mismo que le permite medir las ondas de pulso y la saturación de oxígeno, mediante un esquema de anillo, contando también con tecnología inalámbrica que permite transmitir los datos a una computadora.

En el artículo titulado “Stress detection using wearable physiological sensors” se presenta una nueva tecnología para monitorear la salud física y mental de las personas en su vida diaria, se habla de estados mentales negativos como la depresión y la ansiedad y se presenta un enfoque de aprendizaje automático para la detección de estrés en personas que utilizan sensores fisiológicos portátiles (Sandulescu et al., 2015).

Otro aspecto importante es la medición y evaluación de la actividad física de las personas, por ejemplo, en el artículo “Diseño de sistema IoT de monitoreo y alarma para personas mayores”, los autores establecen que se realiza una revisión de desarrollo de detectores de movimiento portátiles basados en acelerometría donde se toma en cuenta aspectos importantes como la clasificación de la postura y movimientos, la estimación del gasto de energía, la detección de caídas y la evaluación de control del equilibrio (Espinosa Apolo & Orellana Guayas, 2021).

En la actualidad los teléfonos móviles han mostrado un gran potencial para proporcionar información sobre la dinámica relacional de las personas, razón por la cual (Aguilar Cruz & Ortí Maldonado, 2017; Almeida Vivanco & Sánchez Velasco, 2020), presentan un estudio que demuestra que es posible inferir patrones de comportamientos temporales y espaciales, mencionando también sobre los wearables que son un hito tecnología, pues permite registrar una multitud de aspectos de nuestra vida como la alimentación, monitorear el ritmo cardiaco, si la persona está o no estresada y facilita la comunicación con nuestro entorno; se los puede encontrar en varias formas como son relojes, camisetitas, pendientes o brazaletes.

Bajo la misma fuente, uno de los más famosos wearable es el dispositivo Simband, diseñado y distribuido por la marca Samsung que permite medir y realizar seguimiento de la actividad física con varios sensores integrados que permiten desarrollar funciones y aplicaciones adicionales, además de contar con varias funcionalidades para monitorear varios aspectos que, además, están conectados a la nube y almacenan y analizan varios datos vitales.

Existe un estudio de (Vallejo Mera, 2015) para realizar un dispositivo móvil que permita tomar signos vitales como temperatura, pulso, presión arterial y golpes o impactos que también sea de tamaño reducido, brinde amplias prestaciones y, sobre todo, que sea de bajo consumo; asimismo, en el estudio denominado “Diseño e implementación de un sistema robótico de

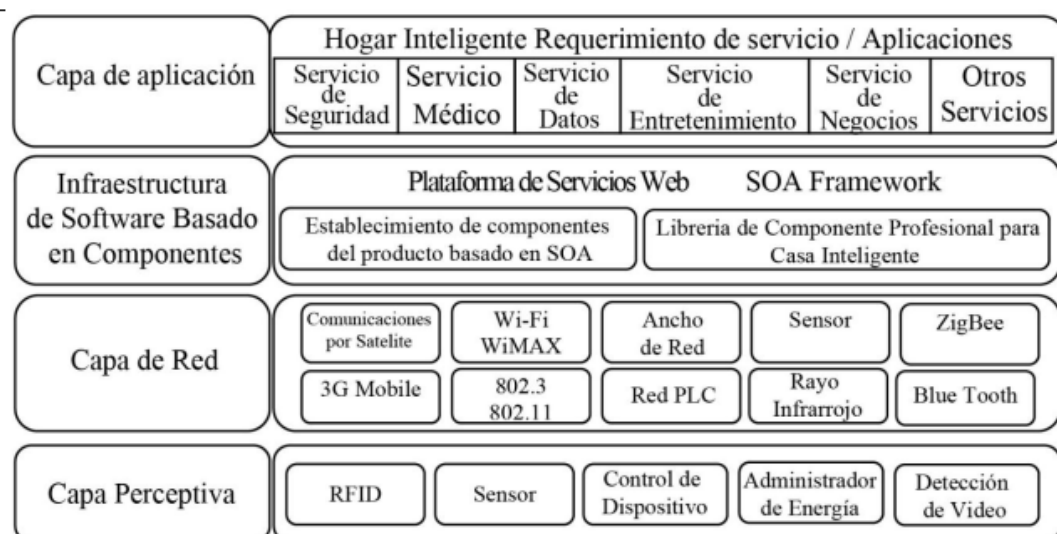
monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basado en OPENHAB” escrito por (Aguilar Cruz & Ortí Maldonado, 2017), se menciona que concuerda con (Vallejo Mera, 2015), en utilizar la misma metodología para detectar las caídas mediante un giroscopio de 6 grados de libertad y obtener un error promedio menor al 3.72 % que posee el dispositivo OMRON HEM-742INT.

Sistemas automatizados que utilizan IoT

Existen algunos estudios que utilizan tecnología IoT para monitoreo de pacientes, signos vitales o en la ayuda de tareas de la vida cotidiana. Es así como en un estudio denominado “IoT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones” realizado por (Bonilla Fabela et al., 2015), los autores mencionan cómo una aplicación del IoT es parte de un hogar inteligente al incluir una gama amplia para el control, pues al tener un hogar que sea inteligente implica seguridad familiar, tratamiento médico de algún integrante de la familia, entretenimiento y/o negocios familiares, tal como se puede observar en la *Figura 2*.

Figura 2.

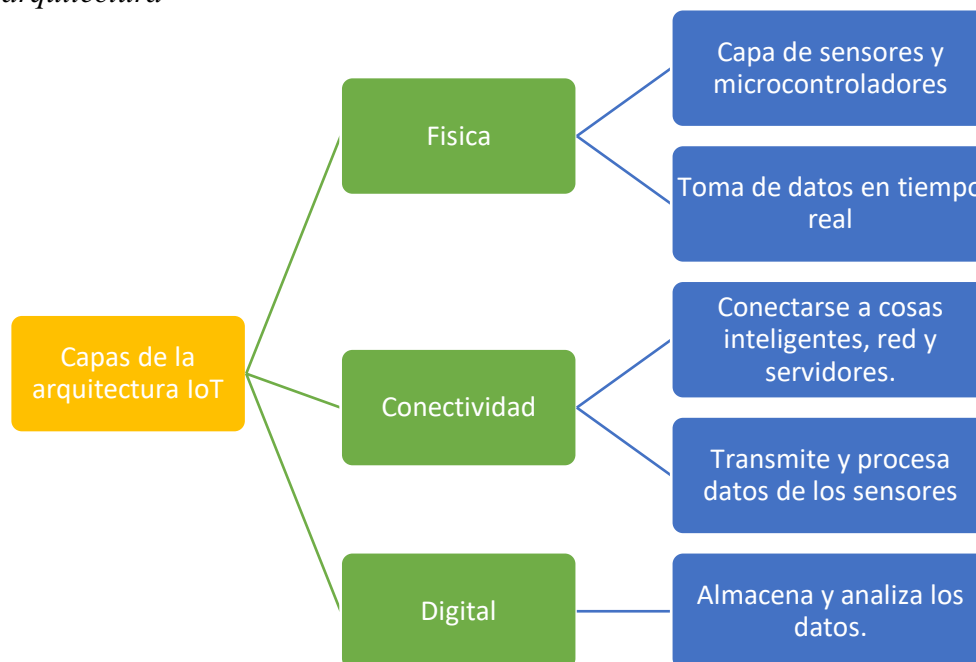
Arquitectura del hogar inteligente basado en IoT



Nota. Tomado de (Bonilla Fabela et al., 2015)

Se tiene la opinión de (Espinosa Apolo & Orellana Guayas, 2021), en un estudio donde se menciona el desarrollo de aplicaciones automatizadas bajo entornos de simulación para monitorear y que estén basadas en IoT a través de la plataforma Ubidots, teniendo como interés principal del mencionado estudio la arquitectura de las capas de IoT mostradas a continuación en la *Figura 3*.

Figura 3.
Capas de arquitectura



Nota. tomado de (Espinosa Apolo & Orellana Guayas, 2021)

Además, hay estudios de tecnología basada en IoT para adultos mayores que presentan dos maneras de usar los sensores, siendo la primera el modo tipo “aprendizaje” donde se programan las actividades de la vida diaria que se necesite para que el paciente pueda volver a realizar de forma independiente y, la segunda, es el modo tipo “apoyo” donde se observa el comportamiento de la persona, pero principalmente reconocen las situaciones donde se requiera asistencia médica (Swaroop et al., 2019).

Capítulo III

Metodología

El capítulo habla del desarrollo del sistema y prototipo para detectar caídas en adultos mayores, basado en el diseño en V de la norma Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2206 para la selección de sensores, sistema de comunicación, etc., con el fin de obtener un dispositivo de monitoreo de caídas en tiempo real y la fuerza que produjo la misma, generando una alertad de aviso de socorro inmediato.

Monitoreo de caída y para esto se usará la cinemática del sistema que define qué tipo de sensores o estructuras se van a usar y cuál es el sistema de alarma y después pasar al sistema de selección de componentes

Diseño del sistema en base a la función de calidad

Cada sistema que se encuentra dentro del proyecto tiene su grado de importancia, por lo cual se realiza mediante una metodología de diseño de la función de calidad Quality Function Deployment (QFD), misma que tiene varios beneficios como clasificar y establecer una secuencia ordenada de selección de dispositivos.

Según (Ngonadi, 2018; Swaroop et al., 2019) la metodología utilizada es una herramienta llamada matriz QFD, para su uso se necesita tener los requerimientos y necesidades del cliente y, a su vez, las características ingenieriles para así establecer prioridades que permitirán llegar al cumplimiento de los objetivos propuestos.

En la lista a continuación se presentan las características tomadas según las necesidades del cliente y que son fundamentales para ejecutar el proyecto:

- Portable.
- Detectar caídas.

- Generar alarma de las caídas.
- Tener comunicación WiFi o inalámbrica.
- Confiable.

El paso siguiente para la realización de la matriz QFD establece características ingenieriles que estén acorde a los requerimientos del cliente, entre los más importantes se enumeran las siguientes:

- Detección de caídas.
- Velocidad de respuesta.
- Resistente al impacto.
- Modular.
- Transmisión Wireless.

Matriz de calidad QFD

Para determinar la importancia de cada necesidad del cliente, se realiza una ponderación del 1 al 5, siendo 1 el de menor importancia y 5 el de mayor importancia.

Se debe correlacionar las características técnicas propuestas y las necesidades del cliente para colocar dentro de la matriz QFD con los valores de 0, 1 y 2, donde el valor 0 expresa que no existe correlación, el valor 1 indica que existe algún tipo de correlación y el valor 2 se refiere a que existe una correlación muy fuerte.

Se debe realizar el siguiente cálculo para encontrar el valor entre la importancia y la correlación con la siguiente formula:

$$\Sigma(I \times C)$$

I = Valor de la necesidad del cliente.

C = Valor entre la necesidad del cliente y la característica técnica.

Se elabora la matriz QFD con el fin de dar prioridad a las características de mayor relevancia y así poder separarlos en sistemas y subsistemas, tomando los valores más altos de la misma.

Tabla 1.
Matriz QFD

Necesidades del cliente	Importancia	Detección de caídas	Velocidad de repuesta	Resistencia al impacto	Modular	Transmisión Wireless
Detectar caídas	5	2	4	3	3	2
Generar alarma	5	3	3	0	0	3
Comunicación Inalámbrica	5	3	2	0	3	2
Confiable	3	2	1	3	0	0
Portable	2	0	0	0	2	4
Valor Total		46	48	24	34	43

Como se observa en la *Tabla 1*, se tiene 3 de mayor importancia, por lo tanto, se determina lo siguiente:

- Sistema de detección de caídas: debe guardar los datos del paciente y guardar los movimientos a fin de poder diferenciar cuando es una caída o no lo es.
- Sistema de transmisión de datos: es primordial que la transmisión de datos sea Wireless y tenga una velocidad óptima de respuesta hacia los familiares, cuidadores o persona responsable asignada por el adulto mayor.

Sistemas y Subsistemas


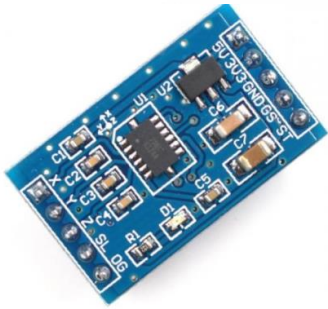
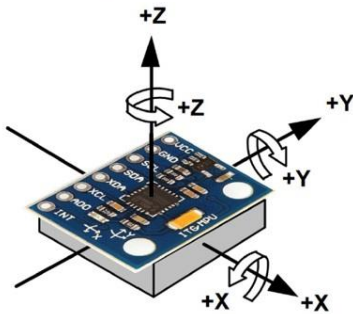
Sistema de detección de caídas

Existen varias opciones y alternativas para detectar caídas. Dentro de los sensores que se tiene, se puede observar la *Tabla 2* donde se muestran las características de interés, como la

necesidad que sea compacto, que permita una buena comunicación, no sea invasivo para la persona y trabaje en el rango de medidas.

Tabla 2.

Sensores para detectar caídas

Sensores	Fotografía	Características
ADXL335		Alimentación: 3.3 – 5 [V]. Consumo: 350 [uA]. Alta sensibilidad. Rango del acelerómetro: 3G. Dimensiones: 19x19x3 [mm]. Peso: 1.25 [gr]. Salida analógica.
MMA7361		Alimentación: 2.2 – 3.6 [V]. Consumo: 400 [uA]. Rango del acelerómetro: 1.5G – 6G. Dimensiones: 28x16x3 [mm]. Peso: 2 [gr]. Interfaz analógica.
MPU6050		Alimentación: 2.3 – 3.4 [V]. Consumo: 20 [mA]. Rango del acelerómetro: 2G – 16G. Dimensiones: 20x15x2.5 [mm]. Peso: 1.8 [gr]. Comunicación I2C.

La selección del sensor toma en consideración los factores antes mencionados: no invasivo, rango de medidas y compacto, con ello, se procede a comparar en la matriz de Holmes evidenciada en la *Tabla 3*, en la cual se calcula la ponderación de cada criterio, valor que se necesitara posteriormente para saber el grado de importancia de cada criterio en la selección del sensor:

Tabla 3.

Matriz de selección de criterios para identificar el sensor detector de caídas

Criterio	Rango de medidas	No invasivo	Compacto	SUMA +1	Ponderación
Rango de medidas	-	1	1	3	0.5
No invasivo	0	-	0.5	1.5	0.25
Compacto	0	0.5	-	1.5	0.25
Total				6	1

A continuación, en las *Tabla 4* se calcula la ponderación de cada sensor según el criterio rango de medidas para así saber cuál es el ganador dentro de ese criterio seleccionado.

Tabla 4.

Ponderación de las soluciones con respecto al criterio rango de medidas

Rango de medidas	ADXL335	MMA7361	MPU6050	SUMA +1	Ponderación
ADXL335	-	1	0	2	0.33
MMA7361	0	-	0	1	0.17
MPU6050	1	1	-	3	0.5
Total				6	1

La *Tabla 5* y *6* calcula la ponderación de forma similar a la que se explicó en la *Tabla 4* pero los criterios a tomar en cuenta son: no invasivo y compacto respectivamente

Tabla 5.

Ponderación de las soluciones con respecto al criterio que no sea invasivo

No invasivo	ADXL335	MMA7361	MPU6050	SUMA +1	Ponderación
ADXL335	-	0.5	0.5	2	0.33
MMA7361	0.5	-	0.5	2	0.33
MPU6050	0.5	0.5	-	2	0.33
Total				6	1

Tabla 6.

Ponderación de las soluciones con respecto al criterio que sea compacto

Compacto	ADXL335	MMA7361	MPU6050	SUMA +1	Ponderación
ADXL335	-	1	1	3	0.5
MMA7361	0	-	0	1	0.17
MPU6050	0	1	-	2	0.33
Total				6	1

Después de realizar la matriz de priorización para seleccionar el sensor para la detección de caídas, en la *Tabla 7* se observa que la opción más apropiada para el proyecto es el sensor MPU6050 que se lo conoce como Inertial Measurement Unit (IMU), que, si bien no es el más compacto, sí tiene mejor rango de medidas para la aplicación gracias a que puede trabajar con 6 grados de libertad y permite tomar medidas de aceleración en estado estático, dinámico y a velocidad angular.

Tabla 7.

Tabla de ponderaciones finales de sensores detector de caídas

	Rango de medidas	No invasivo	Compacto	SUMA	Prioridad
ADXL335	0.165	0.083	0.125	0.373	2
MMA7361	0.085	0.083	0.044	0.212	3
MPU6050	0.25	0.083	0.08	0.413	1
			Total	1	

Sistema de transmisión de datos

Existen varias alternativas para la transmisión de datos de forma inalámbrica, entre ellas están la radio frecuencia, bluetooth, WiFi, etc., observando las características de cada una a continuación:

Tabla 8.

Características de los diferentes sistemas de transmisión




	WiFi	Bluetooth	Radio Frecuencia
Consumo	Alto	Bajo	Alto
Rango de medida	Hasta 300 [m]	Hasta 30 [m]	Entre 10 a 150 [m]
Ancho de banda	1 Gbps	24 Mbps	2 Mbps
Frecuencia	2.4/3.6/5 [GHz]	2.4 GHz	900 MHz – 3.2 GHz
Seguridad	Moderada	Moderada	Baja

En la *Tabla 8* se hace énfasis los puntos más necesarios como rango de medida, ancho de banda y frecuencia, tomando en cuenta que radio frecuencia ya no es comúnmente utilizado, por ello, bluetooth podría ser una buena opción para emplear, sin embargo, al observar el rango y el ancho de banda de los dos, se determina que la mejor opción es el WiFi.

Una vez seleccionado la forma de transmitir datos, se debe considerar las alternativas que se puedan conectar por WiFi y hacer el envío de datos, por ello, a continuación, se presentan las diferentes alternativas de tarjetas microcontroladoras, considerando entre sus características que sea compacto, no invasivo y la velocidad de transmisión de datos.

Tabla 9.

Alternativas de tarjetas microcontroladoras con WiFi

Alternativas	Tarjeta	Características
ESP8266		Alimentación: 3 – 3.3 [V]. Voltaje de salida: 3.3 [V]. Procesador: 32 bits Frecuencia 80/160 MHz. Memoria: 32 [Kb]. Data RAM: 96 [Kb] Dimensiones: 49x25.6 [mm].
ESP32		Alimentación: 3 [V]. Voltaje de salida: 3.3 [V]. Procesador: 32 bits. Memoria: 4 [Mb]. Dimensiones: 48x21 [mm]. Data RAM: 520 [Kb] Frecuencia: 160/240 [Mhz]
ESP8266ex		ESP8266ex Alimentación: 3.3 – 3.6 [V]. Procesador: 32 bits. Dimensiones: 16x24 [mm]. Frecuencia 160 MHz. Data RAM: 50 [Kb].

La selección de la tarjeta controladora se toma en consideración los siguientes factores: dimensiones, frecuencia y Data RAM, con ello, se procede a comparar en la matriz de Holmes evidenciada en la *Tabla 10*, en la cual se calcula la ponderación de cada criterio, valor que se necesitara posteriormente para saber el grado de importancia de cada criterio en la selección de la misma:

Tabla 10.

Matriz de selección de criterios para identificar la tarjeta microcontroladora

Criterio	Dimensiones	Frecuencia	Data RAM	SUMA +1	Ponderación
Dimensiones	-	1	1	3	0.6
Frecuencia	0	-	0	1	0.2
Data RAM	0	0	-	1	0.2
Total				5	1

A continuación, en las *Tabla 11* se calcula la ponderación de cada tarjeta según el criterio dimensiones para así saber cuál es el ganador dentro de ese criterio seleccionado.

Tabla 11.

Ponderación de las soluciones con respecto al criterio dimensiones

Dimensiones	ESP8266	ESP32	ESP8266ex	SUMA +1	Ponderación
ESP8266	-	0.5	0	1.5	0.25
ESP32	0.5	-	0	1.5	0.25
ESP8266ex	1	1	-	3	0.5
Total				6	1

La *Tabla 12* y *13* calcula la ponderación de forma similar a la que se explicó en la *Tabla 11* pero los criterios a tomar en cuenta son: frecuencia y data RAM respectivamente

Tabla 12.

Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de la frecuencia

Frecuencia	ESP8266	ESP32	ESP8266ex	SUMA +1	Ponderación
ESP8266	-	1	0.5	2.5	0.42
ESP32	0	-	0	1	0.16
ESP8266ex	0.5	1	-	2.5	0.42
Total				6	1

Tabla 13.

Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de la Data RAM

Data RAM	ESP8266	ESP32	ESP8266ex	SUMA +1	Ponderación
ESP8266	-	0.5	0.5	2	0.29
ESP32	1	-	1	3	0.42
ESP8266ex	0.5	0.5	-	2	0.29
Total				7	1

Después de hacer el análisis con las matrices de Holmes se llega a determinar que por las características y aplicaciones que se tiene en el proyecto la tarjeta controladora más adecuada es la ESP8266ex como se observa en la *Tabla 14*.

Tabla 14.

Tabla de ponderaciones finales de sensores detector de caídas

	Dimensiones	Frecuencia	Data RAM	SUMA +1	Prioridad
ESP8266	0.15	0.084	0.058	0.292	2
ESP32	0.15	0.032	0.084	0.266	3
ESP8266ex	0.3	0.084	0.058	0.442	1
			Total	1	

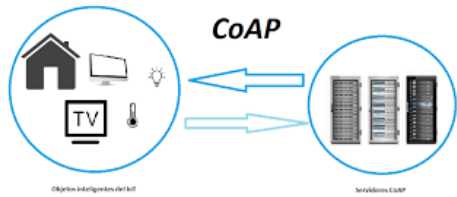
Ahora vamos a hablar de las alternativas de protocolos IoT ya que esta elección es un paso esencial para el despliegue del entorno. El protocolo es quien posibilita la comunicación entre todos los dispositivos en la Tabla 10 se especifica las características de algunos de ellos.

Las funciones principales de los protocolos son:

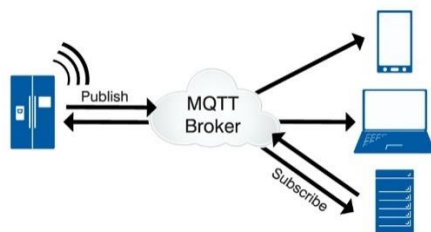
- Comunicación amplia y variada entre los dispositivos de forma simultánea.
- Evitan el acoplamiento entre dispositivos para que no exista dependencia entre ellos,
- Facilitan la escalabilidad permitiendo añadir o eliminar dispositivos del entorno.
- Garantizan la seguridad de las comunicaciones en entornos vulnerables como el IoT industrial.
- Procuran el acceso a los dispositivos de forma sencilla.

Tabla 15

Alternativas de protocolos para IoT

Alternativas	Tarjeta	Características
CoAP (Constrained Application Protocol)		-Comunicación entre dispositivos de baja potencia. -Ancho de banda restringida.

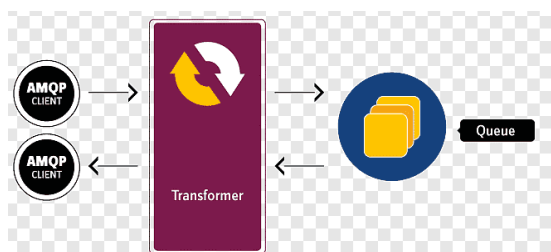
MQTT
(MQ
Telemetry
Transport)



-Protocolo de transferencia de documentos.

-Modelo publicación-suscripción
-Comunicación en un gran número de dispositivos.
-Servidor llamado bróker.
-Mensajes con etiquetas de forma jerárquica.
-Interoperabilidad entre middleware de mensajería.
-Mensajes estandarizados a nivel industrial

AMQP
(Advanced
Message
Queuing
Protocol)



Para la selección del protocolo de comunicación se toma en consideración los siguientes factores: modelo, ancho de banda y funcionalidad, con ello, se procede a comparar en la matriz de Holmes evidenciada en la *Tabla 16*, en la cual se calcula la ponderación de cada criterio, valor que se necesitara posteriormente para saber el grado de importancia de cada criterio en la selección de la misma:

Tabla 16.

Matriz de selección de criterios para seleccionar el protocolo de comunicación

Criterio	Modelo	Ancho de banda	Funcionalidad	SUMA +1	Ponderación
Modelo	-	0.5	1	2.5	0.42
Ancho de banda	0.5	-	1	2.5	0.42
Funcionalidad	0	0	-	1	0.16
Total				6	1

A continuación, en las *Tabla 17* se calcula la ponderación de cada protocolo según el criterio modelo para así saber cuál es el ganador dentro de ese criterio seleccionado.

Tabla 17.*Ponderación de las soluciones con respecto al criterio modelo*

Modelo	CoAP	MQTT	AMQP	SUMA +1	Ponderación
CoAP	-	0	0.5	1.5	0.25
MQTT	1	-	1	3	0.5
AMQP	0.5	0	-	1.5	0.25
Total				6	1

La *Tabla 18 y 19* calcula la ponderación de forma similar a la que se explicó en la *Tabla 11* pero los criterios a tomar en cuenta son: ancho de banda y funcionalidad respectivamente

Tabla 18.*Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de ancho de banda*

Ancho de banda	CoAP	MQTT	AMQP	SUMA +1	Ponderación
CoAP	-	0	0	1	0.16
MQTT	1	-	0.5	2.5	0.42
AMQP	1	0.5	-	2.5	0.42
Total				6	1

Tabla 19.*Ponderación de las soluciones con respecto al criterio de funcionalidad*

Funcionalidad	CoAP	MQTT	AMQP	SUMA +1	Ponderación
CoAP	-	0	1	2	0.33
MQTT	1	-	1	3	0.5
AMQP	0	0	-	1	0.17
Total				6	1

Después de realizar las matrices para los protocolos de comunicación, en la *Tabla 20* observamos que la opción más apropiada para el proyecto es el protocolo MQTT por el modelo que usa para comunicación y el ancho de banda que maneja.

Tabla 20.*Tabla de ponderaciones finales de sensores detector de caídas*

Modelo	Ancho de banda	Funcionalidad	SUMA +1	Prioridad
CoAP	0.105	0.0672	0.225	3
MQTT	0.21	0.1764	0.4664	1
AMQP	0.105	0.1764	0.3083	2
Total			1	

Finalmente se tiene que seleccionar la plataforma para la transmisión de datos y generar la alarma, entre las plataformas se tiene Thonger.io, Thingworx y Ubidots, la *Tabla 21* muestra las características de las mismas.

Tabla 21
Alternativas de plataformas para IoT

Alternativas	Tarjeta	Características
Thinger.io		<ul style="list-style-type: none"> -Permite conectar máximo 3 dispositivos. -Almacena máximo 10 campos. -Máximo 10 marcas. -Compatibilidad con Arduino.
ThingWorx		<ul style="list-style-type: none"> -Prueba gratis solo por 120 días. -Experiencias de realidad aumentada de forma rápida y sencilla -Análisis predictivo. -Innovación de nuevas aplicaciones y procesos empresariales.
Ubidots		<ul style="list-style-type: none"> -Se enfoca en los datos e información. -Visualiza y configura alarmas. -Busca llevar la información a cualquier Smartphone -Compatibilidad con Arduino. -Compatible con diferentes protocolos entre ellos HTTP y MQTT.

Después de analizar las características que se observa en la *Tabla 21* de las plataformas para IoT se llega a la conclusión de seleccionar la plataforma Ubidots por la compatibilidad con Arduino y con los diferentes protocolos de comunicación, como también que se puede llevar la información a cualquier Smartphone.

En la *Figura 4* se presenta el esquema de la transferencia de datos que después de la selección de elementos se tiene para el proyecto mencionado.

Figura 4.

Esquema de la transferencia de datos

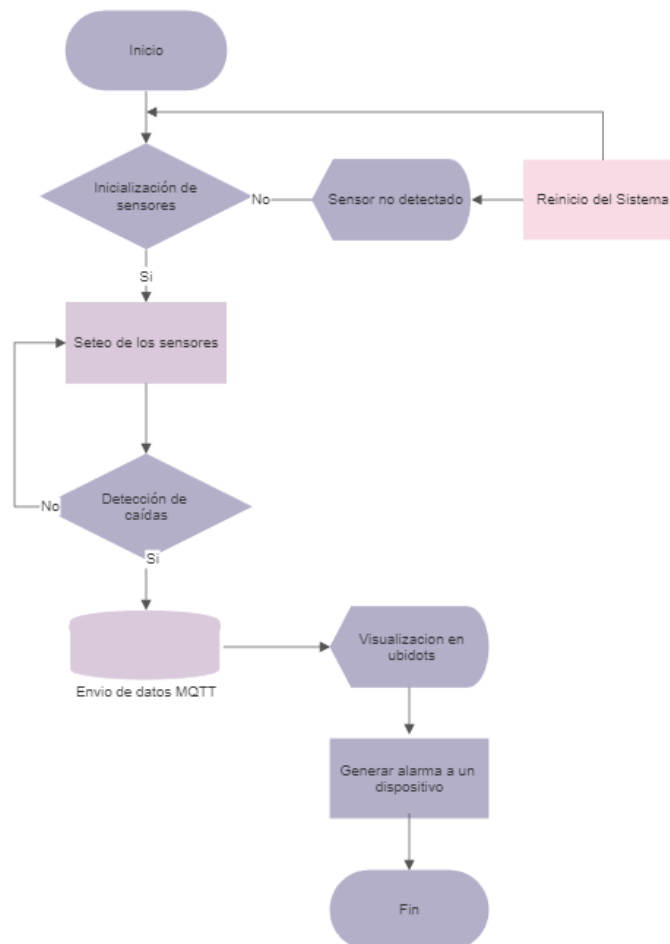


Nota. Fuente propia

Los datos tomados se reciben en tiempo real en la plataforma de Ubidots, posteriormente la alarma es notificada mediante correo electrónico al familiar o cuidador del paciente. En la *Figura 5* se tiene el diagrama de flujo del sistema.

Figura 5.

Diagrama de flujo del sistema

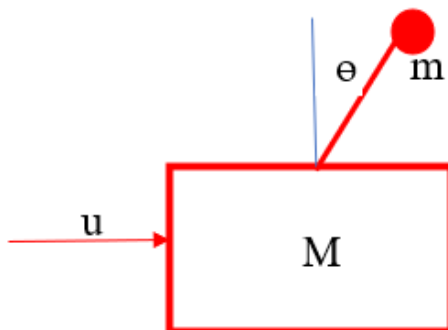


Nota. Fuente propia

Cinemática del sistema

Para realizar la cinemática del sistema, se basa en la teoría de un péndulo invertido tal como se observa en la *Figura 6*:

Figura 6.
Diagrama de cuerpo libre



Nota. Fuente propia

Se procede a hacer sumatoria de fuerzas y energías, por lo que se obtiene:

$$l\ddot{\theta} = Vl\sin\theta - Hl\cos\theta$$

$$\text{si } \theta \rightarrow 0, \quad \therefore l\ddot{\theta} = Vl\theta - Hl \quad (1)$$

Movimiento de traslación

$$m \frac{d^2}{dt^2} (x + l\sin\theta) = H$$

$$\text{si } \theta \rightarrow 0, \quad \therefore m \frac{d^2}{dt^2} (x + l\theta) = H$$

$$m (\ddot{x} + l\ddot{\theta}) = H \quad (2)$$

Movimiento vertical

$$0 = V - mg$$

$$V = mg \quad (3)$$

Movimiento horizontal vehículo

$$M\ddot{x} = u - H \quad (4)$$

Se reemplaza 2 en 4 y se obtiene la primera ecuación del sistema:

$$m(\ddot{x} + l\ddot{\phi}) = -M\ddot{x} + u$$

$$M\ddot{x} + m\ddot{x} + ml\ddot{\phi} = u$$

$$(M + m)\ddot{x} + ml\ddot{\phi} = u \quad (I)$$

También se reemplaza 1 en 2 para obtener la segunda ecuación:

$$I\ddot{\theta} = mgl\phi - m(\ddot{x} + l\ddot{\phi})l$$

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + ml\ddot{x} - mgl\phi = 0 \quad (II)$$

Los siguientes parámetros se deben escribir para iniciar el sistema:

$$M = 0$$

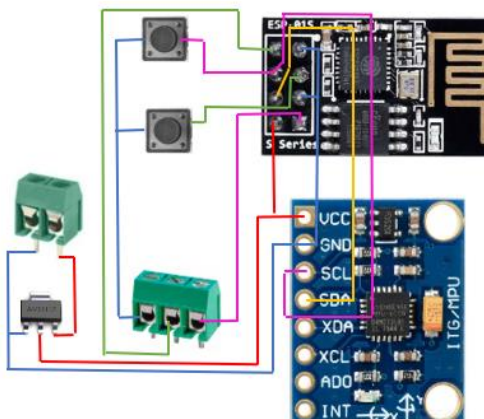
$$m = \text{masa del adulto mayor}$$

$$l = \text{altura a la cual va colocado el sensor}$$

Sistema detector de caídas

Posterior a seleccionar todos los elementos que van a interactuar en el prototipo a ser fabricado, se procede con la conexión que tiene el siguiente esquema que se visualiza en la *Figura 7*. Entre los elementos a utilizarse pero que no se realizó la selección por ser elementos electrónicos se tiene pulsadores y borneras que servirán para la programación y alimentación del sistema.

Figura 7.
Diagrama esquemático de conexión

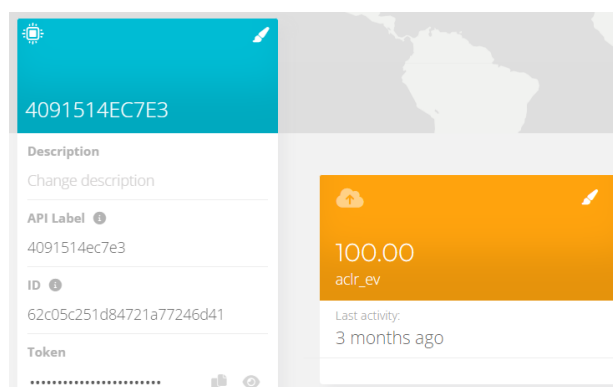


Nota. Fuente propia

Para programar la tarjeta microcontrolador ESP8266ex se utiliza el programa Arduino IDE que como se vio en las características anteriormente es compatible para el protocolo de comunicación MQTT. La alarma de las caídas es programada dentro del mismo, mediante pruebas se determinó que todo valor mayor a 12 que detecte el osciloscopio envíe a la tarjeta y este disponga que sea caída y menor a este valor puede ser cualquier otra rutina diaria de la persona.

Si la tarjeta afirma que es caída, mediante el protocolo MQTT envía a la plataforma de Ubidots un valor de 100 como se observa en la *Figura 8*, para posteriormente utilizar este dato y programar la alarma que será generada.

Figura 8.
Registro del valor en la plataforma Ubidots



Nota. Fuente propia

Cuando se programa la alarma es necesario ingresar datos personales del paciente para tener un registro relevante, mismo donde se incluirán uno correo electrónico de un familiar o cuidador para que le llegue la alarma como se observa en la *Figura 9*.

Figura 9.
Alarma en la plataforma de Ubidots

Nota. Fuente propia

Finalmente, cuando la persona se ha caído, le llega el mensaje al correo ingresado anteriormente, se observamos la *Figura 10* muestra cómo llega la alarma que ha sido generada

Figura 10.
Correo de comprobación de la alarma generada

Notifications Ubidots <service@ubidots.com>
para mí ▾
Paciente Karol Moya, adulto mayor independiente para las actividades básicas de la vida diaria con antecedente de enfermedad de Alzheimer sufre caída.
Datos:
Peso: 65Kg
Estatura: 152 cm

Nota. Fuente propia

Capítulo IV

Resultados y discusión

Se realizaron las pruebas a 5 personas en diferentes situaciones para que el prototipo detecte cuando ellos presenten una caída, para ello, el sensor se colocó en la espalda y se pidió que cada persona de prueba realice sus actividades diarias de forma habitual. Dando como resultado las siguientes tablas.

En la *Tabla 22* se tiene los resultados del sujeto de prueba 1 como se observa se realizó 20 pruebas en cada una de las actividades, se tiene que el mayor porcentaje del error se da cuando está subiendo y bajando gradas, mientras que el error menor tiene cuando presenta una caída.

Tabla 22.
Resultados experimentales persona de prueba 1

	N° de experimentos	Generar alarma	No genera alarma	Error
Caminando	20	5	15	25%
Sentándose y parándose	20	7	13	35%
Subiendo y bajando gradas	20	8	12	40%
Saltando	20	6	14	30%
Caída	20	18	2	10%

Para las pruebas realizadas por el sujeto 2 se observa la *Tabla 23*, en la cual en cambio observamos que el porcentaje mayor del error es caminando y saltando, mientras que el mínimo sigue siendo al momento de leer las caídas.

Tabla 23.
Resultados experimentales persona de prueba 2

	N° de experimentos	Generar alarma	No genera alarma	Error
Caminando	20	7	13	35%
Sentándose y parándose	20	4	16	20%
Subiendo y bajando gradas	20	5	15	25%

Saltando	20	7	13	35%
Caída	20	17	3	15%

La *Tabla 24* presenta el resumen de las pruebas del sujeto 3 obteniendo el máximo error cuando se encuentra saltando mientras que el mínimo es cuando está sentándose y parándose,

Tabla 24.
Resultados experimentales persona de prueba 3

	N° de experimentos	Generar alarma	No genera alarma	Error
Caminando	20	7	13	35%
Sentándose y parándose	20	2	18	10%
Subiendo y bajando gradas	20	5	15	25%
Saltando	20	9	11	45%
Caída	20	14	6	30%

La persona de prueba 4 presenta un error mayor cuando está subiendo y bajando gradas mientras que el mínimo es cuando se sienta y se para cómo se observa en la *Tabla 25*.

Tabla 25.
Resultados experimentales persona de prueba 4

	N° de experimentos	Generar alarma	No genera alarma	Error
Caminando	20	6	14	30%
Sentándose y parándose	20	2	18	10%
Subiendo y bajando gradas	20	10	10	50%
Saltando	20	7	13	35%
Caída	20	14	6	30%

El sujeto de prueba final o número 5 en cambio presenta sus datos en la *Tabla 26* siendo así el porcentaje mayor de error cuando se sienta y se para y el menor error dando un valor del 10% cuando está caminando

Tabla 26.
Resultados experimentales persona de prueba 5

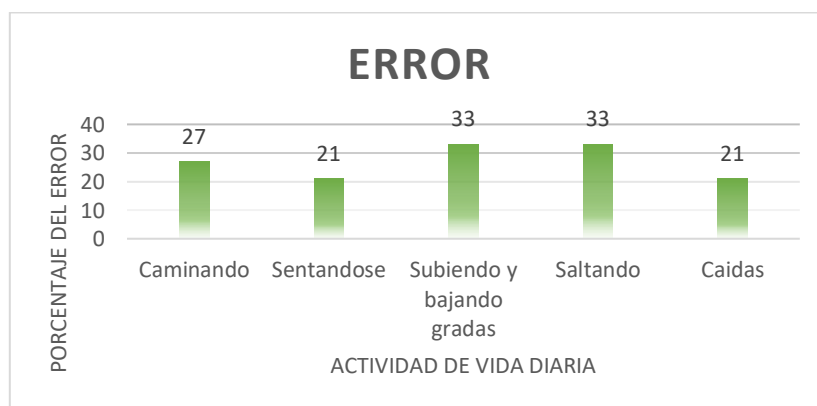
	Nº de experimentos	Generar alarma	No genera alarma	Error
Caminando	20	2	18	10%
Sentándose y parándose	20	6	14	30%
Subiendo y bajando gradas	20	5	15	25%
Saltando	20	4	16	20%
Caída	20	16	4	20%

En la *Tabla 27* se presenta, el promedio del error del dispositivo en cada una de las actividades que realiza en su vida diaria cada participante, a partir de ello se calcula la media de cada una de las actividades para poder definir el error total general del prototipo. En la *Figura 11* se presenta un gráfico de barras para tener de manera visual lo antes mencionado.

Tabla 27.
Resumen de errores en los distintos personajes de prueba

	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4	Persona 5	Error
Caminando	25	35	35	30	10	27%
Sentándose y parándose	35	20	10	10	30	21%
Subiendo y bajando gradas	40	25	25	50	25	33%
Saltando	30	35	45	35	20	33%
Caída	10	15	30	30	20	21%

Figura 11
Gráfico de barras de la tabla de errores



Nota: Fuente propia

Media

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{135}{5} = 27$$

Varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{122}{5} = 24.4\% \text{ error}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{24.4} = 4.94\%$$

Los datos arrojan que el dispositivo tiene el 24.4% de error al generar la alarma de acuerdo a las caídas, lo que daría una precisión del 75.6% se podría decir que es confiable porque incluso se tiene una desviación estándar de 4.94% entre cada uno de los datos. Demostrando que la metodología y los sensores usados son adecuados para el proyecto y reflejando una alta eficacia del mismo.

El prototipo presentó grandes ventajas como lectura de datos de forma simultánea y sobre todo y la más importante no presentar errores luego de la caída. Dando como resultado un dispositivo con medidas finales de 50x40x27 [mm] (largo x ancho x alto).

A continuación, se presenta la *Tabla 28* en la que se puede observar el costo de todos los elementos que intervienen en el proyecto incluyendo la mano de obra en el que se dice que el total del dispositivo tendría un costo de \$50 (cincuenta) dólares americanos.

Tabla 28.
Resumen de Costos

Descripción	Cantidad	Costo
Tarjeta ESP8266ex	1 unidad	\$ 4.50
Baquelita perforada	1 unidad	\$ 1.50
Cables	1 metro	\$ 1.00
Pulsadores	2 unidades	\$ 0.50
Caja impresa en TPU	1 unidad	\$ 5.00
MPU 6050	1 unidad	\$ 4.50
Jumpers	4 unidades	\$ 1.00
Batería de Lipo de 3.7 V de 350mAh.	1 unidad	\$ 11.5
Estaño y más elementos		\$1.50
Mano de Obra		\$14
TOTAL		\$ 45.00

Discusión

En este artículo (Lim et al., 2014) nos habla de que existe dos metodologías para la detección de caídas: sistemas conscientes del contexto y dispositivos portátiles, los sensores que miden datos tienen una sensibilidad del 85.7% con una relatividad alta; en base a nuestros resultados mismo que está basado en la primera metodología, la credibilidad del prototipo 75.6% con una desviación estándar del 4.94% que estadísticamente hablando y no superando la desviación estándar del 10% se puede definir como un prototipo bueno, confiable y correcto.

El sensor o acelerómetro utilizado BMA150 en (Lim et al., 2014) presenta un costo de \$35 mientras que en el prototipo realizado el acelerómetro MPU6050 cuesta \$4.50 y el costo total del proyecto completo es \$35 así como también la disponibilidad de elementos es completa en el país. Es decir, se redujo el costo de forma notoria sin la necesidad de que esto generara un dispositivo con mayor error.

Capítulo V

Conclusiones

Se diseñó un sistema de monitoreo que permitió la detección de caídas en los adultos mayores, el sistema cuenta con tarjeta de control, un acelerómetro que toma datos de 3 ejes y una carcasa para sujetar al cuerpo en la espalda alta del paciente con una conexión a la red WiFi a través de Ubidots, permitiendo el monitoreo y enviando alarmas para la respuesta inmediata de atención médica y ayuda en caso de emergencia.

La tarjeta seleccionada para el prototipo fue la ESP8266ex, ya que se considera la más idónea para el trabajo que va a realizar porque no presenta errores de comunicación, ni desconexión, anteriormente se realizó pruebas con la tarjeta controladora ESP8266 pero al momento de caerse presentaba errores de desconexión lo que no permitía tener más de una sola lectura e inclusive no permitía generar la alarma por el tiempo mínimo que tenía antes de desconectarse.

Se logra identificar las fuerzas que intervienen en la caída de una persona, dicha fuerza puede estar en cualquiera de los 3 ejes dependiendo de hacia dónde caiga la persona, por esta razón se decidió utilizar un acelerómetro y giroscopio, que permiten tener una lectura en cualquiera de ellos utilizando la cinemática del péndulo invertido.

La tarjeta microcontroladora lee las diferentes fuerzas que el paciente produce en su vida cotidiana, una vez que procesa y determina que es caída, mediante un protocolo de comunicación inalámbrica se transmite el dato a la plataforma de Ubidots.

El sistema de alarma propuesto por el proyecto, cuenta con una precisión del 75.6 %, al ser un prototipo la precisión obtenida se considera aceptable.

La alarma se programó dentro de la plataforma Ubidots, esta se genera después de recibir el dato que es procesado en la tarjeta microcontroladora para verificar si es o no caída, la alarma contiene los datos más relevantes del paciente y también se coloca el correo electrónico del cuidador o familiar del paciente al que le va a llegar la notificación.

La complejidad de las actividades diarias del ser humano hace que la detección de caídas sea compleja de conseguir con una precisión del 100 % y, aunque en el caso del adulto mayor su vida cotidiana es más pacífica, es común que posea discapacidades físicas o mentales que producen caídas con más frecuencia que en otra población etaria.

Recomendaciones

Se recomienda realizar una HMI (Human Machine Interface) que contenga datos específicos como: peso, medicamentos, tratamientos, evolución, etc., del paciente para que el médico tratante o futuros médicos que le vayan a revisar puedan dar seguimiento a su tratamiento y situación en la que se encuentra el paciente

Se aconseja investigar sobre nano tarjetas y nano sensores que se pueda utilizar en el proyecto sin elevar su costo, con lecturas rápidas, eficientes y de esta forma reducir las dimensiones del prototipo y que estéticamente sea mejor inclusive para que el paciente no sienta mal de usarlo.

Se recomienda buscar otro tipo de batería o del mismo pero que de mayor duración dado que la batería puesta en el prototipo dura alrededor de 2,5 a 3 horas usándolo constantemente y para que esté completamente cargado se necesita de 20 minutos lo cual no es adecuado, porque el paciente estaría usándolo un promedio de 14 a 16 horas de las cuales 5 veces se tendría que haber colocado a cargar y para eso se necesitaría ayuda constante del cuidador.

Trabajos Futuros

Como trabajo futuro se puede mejorar el diseño del prototipo y aumentar la comunidad para la persona que lo va a utilizar, realizando una placa con nano-elementos y así optimizar el espacio hasta el punto de tener un sistema embebido.

Se propone que realicen pruebas en una muestra representativa para que de manera verificar cual es el porcentaje de ayuda que tiene con las personas.

Referencias

- Aguilar, R., & Ortí, C. (2017). *Diseño e implementación de un sistema robotico de monitoreo e interpretación de signos vitales de personas de edad avanzada basados en OPENHAB*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas [ESPE]. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13466>
- Bonilla, I., Tavizon, A., Morales, M., Guajardo, L., & Laines, C. (16 de mayo de 2016). IOT, El internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones. *Vincula Téctica*, 2(1), 2448-5101. Obtenido de <http://www.web.facpya.uanl.mx/Vinculategica/Revistas/R2/2313-2340%20-%20Iot,%20El%20Internet%20De%20Las%20Cosas%20Y%20La%20Innovacion%20De%20Sus%20Aplicaciones.pdf>
- Dongha, L., Chulho, P., Nam, H., Sang-Hoo, K., & Yun, S. (17 de septiembre de 2014). Algoritmo de detección de caídas que usa aceleración de 3 ejes: combinación con umbral simple y modelo de Markov oculto. *Revista de Matemáticas Aplicadas*, 1-9. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2014/896030>
- Eagle, N., Lazer, D., & Pentland, A. (8 de septiembre de 2009). Inferir la estructura de la red de amistad mediante el uso de datos de teléfonos móviles. *PNAS*, 106(36), 15274-15278. Obtenido de <https://doi.org/10.1073/pnas.0900282106>
- Espinosa, B., & Orellana, M. (2021). *Desarrollo de aplicaciones de monitoreo y control basadas en IoT a través de la plataforma Ubidots. Aplicaciones a sistemas de automatización bajo entornos de simulación*. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20298/1/UPS-CT009142.pdf>

- Ge, Y., Liu, M., Qunjun, C., & Tong, L. (5 de febrero de 2013). Método de predicción y detección de caídas humanas basado en HMM utilizando un acelerómetro triaxial. *IEEE Sensors Journal*, 12(5), 1849-1856. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6450028>
- González, R., Hernández, R., & Jimenez del Olmo, B. (2016). *Desarrollo de un sistema de detección de caídas basado en acelerómetros*. Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/38704/1/MemoriaTFG.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2009). *Encuesta de Salud, Bienestar del Adulto Mayor*. Obtenido de Salud, bienestar y envejecimiento: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-salud-bienestar-del-adulto-mayor/>
- Lousado, J. P., & Antunes, S. (20 de noviembre de 2020). Monitoreo y soporte para personas mayores que utilizan tecnologías de comunicación LoRa: conceptos y aplicaciones de IoT. *Future Internet. Data Science and Knowledge Discovery Magazine*, 12(11), 12-206. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/fi12110206>
- Perolle, G., & Etxeberria, A. (2007). Detector automático de caídas y monitorización de actividad para personas mayores. *Elsevier. Revista española de Geriatria y Gerontología*, 41(2), 33-41. Obtenido de 10.1016/S0210-5705(09)71003-9
- Sandulescu, V., Andrews, S., Ellis, D., Bellotto, N., & Martínez, O. (2015). Detección de estrés mediante sensores fisiológicos portátiles. *Artificial Computation in Biology and Medicine*, 23(9107). Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-319-18914-7_55
- Sanmartín, P., Avila, K., Vilora, C., & Jabba, D. (2016). Internet de las cosas y salud centrada en el hogar. *Salud Pública*, 32(2), 337-351. Obtenido de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-962373>

- Swaroop, K., Chandu, K., Gorrepotu, R., & Deb, S. (2019). A health monitoring system for vital signs using IoT. *Science Direct. Journal Internet of Things*, 5(1), 116-129. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.01.004>
- Tobar, E., & Silva, R. (2021). *Desarrollo de un sistema para la monitorización de variables físicas basada en telemetría e IoT para instituciones hospitalarias de la ciudad de Guayaquil*. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20700>
- Vallejo, G., & Manzano, V. (2015). *Sistema de monitoreo de signos vitales y alerta de accidentes para personas con problemas de movilidad*. Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/15108>
- Wei-Jian, X., Yi-Feng, Z., Wei-Nan, C., & Wei-Che, C. (2021). Research of HMM-based fall detection system for elderly. *Journal of Computers*, 32(1), 27-38. Obtenido de <http://www.csroc.org.tw/journal/JOC32-1/JOC3201-03.pdf>
- Yacchirema, D., Suárez, J., Palau, C., & Esteve, M. (2019). *Sistema de detección de caídas para personas mayores usando IoT y algoritmo de aprendizaje automático*. Springer Nature. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00779-018-01196-8>
- Yang, B., & Rhee, S. (29 de febrero de 2015). Desarrollo del sensor de anillo para la automatización sanitaria. *Robotics and Autonomous Systems*, 30(3), 273-281. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921889099000925>
- Yang, C., & Yeh-Liang, H. (2010). Una revisión de los detectores de movimiento portátiles basados en acelerometría para monitorear la actividad física. *Sensores*, 10(8), 7772-7788. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/s100807772>

Anexos

Anexo A

Código del Programa

```
//Nombre: Karol Moya Yanes
//Master: Diseño Industrial
#include <Adafruit_MPU6050.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Wire.h>
#include "Ubidots.h"
#include <Ticker.h>
Ticker tiempo_1;
#define DEVICE "Esp8266Dev" // Put here your Ubidots device label
#define ID_Acl_ev "aclr_ev"
#define TOKEN "BBFF-WdohnZ0iLI6y51ojcp2leuxGx3qh5F" // Put here your Ubidots TOKEN
#define WIFISSID "UISEK-MC" // Put here your Wi-Fi SSID
#define PASSWORD "" // Put here your Wi-Fi password
Ubidots client(TOKEN);
boolean Band_cloud = false;
Adafruit_MPU6050 mpu;
double Acel_x , Acel_y , Acel_z = 0;

void setup() {
  Wire.begin(2,0);
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial)
    delay(10); // will pause Zero, Leonardo, etc until serial console opens
  client.wifiConnect(WIFISSID, PASSWORD);
  Serial.println("Adafruit MPU6050 test!");
  // Try to initialize!
  if (!mpu.begin()) {
    Serial.println("Failed to find MPU6050 chip");
```

```
while (1) {
  delay(10);
}
}
Serial.println("MPU6050 Found!");
mpu.setAccelerometerRange(MPU6050_RANGE_8_G);
Serial.print("Accelerometer range set to: ");
switch (mpu.getAccelerometerRange()) {
case MPU6050_RANGE_2_G:
  Serial.println("+2G");
  break;
case MPU6050_RANGE_4_G:
  Serial.println("+4G");
  break;
case MPU6050_RANGE_8_G:
  Serial.println("+8G");
  break;
case MPU6050_RANGE_16_G:
  Serial.println("+16G");
  break;
}
mpu.setGyroRange(MPU6050_RANGE_500_DEG);
Serial.print("Gyro range set to: ");
switch (mpu.getGyroRange()) {
case MPU6050_RANGE_250_DEG:
  Serial.println("+ 250 deg/s");
  break;
case MPU6050_RANGE_500_DEG:
  Serial.println("+ 500 deg/s");
  break;
case MPU6050_RANGE_1000_DEG:
  Serial.println("+ 1000 deg/s");
```

```
    break;
case MPU6050_RANGE_2000_DEG:
    Serial.println("+/- 2000 deg/s");
    break;
}

mpu.setFilterBandwidth(MPU6050_BAND_5_HZ);
Serial.print("Filter bandwidth set to: ");
switch (mpu.getFilterBandwidth()) {
case MPU6050_BAND_260_HZ:
    Serial.println("260 Hz");
    break;
case MPU6050_BAND_184_HZ:
    Serial.println("184 Hz");
    break;
case MPU6050_BAND_94_HZ:
    Serial.println("94 Hz");
    break;
case MPU6050_BAND_44_HZ:
    Serial.println("44 Hz");
    break;
case MPU6050_BAND_21_HZ:
    Serial.println("21 Hz");
    break;
case MPU6050_BAND_10_HZ:
    Serial.println("10 Hz");
    break;
case MPU6050_BAND_5_HZ:
    Serial.println("5 Hz");
    break;
}
Serial.println("Iniciando .... ");
```

```
Serial.println("");
delay(100);
Band_cloud = false;
client.add(ID_Acl_ev, 0);
client.send();
}

void loop()
{
  /* Get new sensor events with the readings */
  sensors_event_t a, g, temp;
  mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
  Acel_x = a.acceleration.x;
  Acel_y = a.acceleration.y;
  Acel_z = a.acceleration.z;
  if (Acel_x > 12)
  {
    client.add(ID_Acl_ev, 100);
    client.send();
    tiempo_1.attach(15, funcion_1);
    Serial.println("Enviando Alerta a la nube");
  }
  if (Acel_y > 12)
  {
    client.add(ID_Acl_ev, 100);
    client.send();
    tiempo_1.attach(15, funcion_1);
    Serial.println("Enviando Alerta a la nube");
  }

  if (Acel_z > 12)
  {
```



```
client.add(ID_Acl_ev, 100);
client.send();
tiempo_1.attach(15, funcion_1);
Serial.println("Enviando Alerta a la nube");
}
if(Band_cloud == true)
{
    Band_cloud = false;
    client.add(ID_Acl_ev, 0);
    client.send();
    Serial.println("Desactivando Alerta de la nube");
}
}
void funcion_1(void)
{
    Band_cloud = true;
    tiempo_1.detach();
}
```

Anexo B

B1: Hoja técnica MPU6050

6.3 Electrical and Other Common Specifications

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	Units	Notes
TEMPERATURE SENSOR						
Range			-40 to +85		°C	
Sensitivity	Untrimmed		340		LSB/°C	
Temperature Offset	35°C		-521		LSB	
Linearity	Best fit straight line (-40°C to +85°C)		±1		°C	
VDD POWER SUPPLY						
Operating Voltages		2.375		3.46	V	
Normal Operating Current	Gyroscope + Accelerometer + DMP		3.9		mA	
	Gyroscope + Accelerometer (DMP disabled)		3.8		mA	
	Gyroscope + DMP (Accelerometer disabled)		3.7		mA	
	Gyroscope only (DMP & Accelerometer disabled)		3.6		mA	
	Accelerometer only (DMP & Gyroscope disabled)		500		µA	
Accelerometer Low Power Mode Current	1.25 Hz update rate		10		µA	
	5 Hz update rate		20		µA	
	20 Hz update rate		70		µA	
	40 Hz update rate		140		µA	
Full-Chip Idle Mode Supply Current			5		µA	
Power Supply Ramp Rate	Monotonic ramp. Ramp rate is 10% to 90% of the final value			100	ms	
VLOGIC REFERENCE VOLTAGE						
Voltage Range	MPU-6050 only	1.71		VDD	V	
Power Supply Ramp Rate	VLOGIC must be ≤VDD at all times Monotonic ramp. Ramp rate is 10% to 90% of the final value			3	ms	
Normal Operating Current			100		µA	
TEMPERATURE RANGE						
Specified Temperature Range	Performance parameters are not applicable beyond Specified Temperature Range	-40		+85	°C	

B2: Hoja técnica ESP8266ex

Table 1-1. Specifications

Categories	Items	Parameters
Wi-Fi	Certification	Wi-Fi Alliance
	Protocols	802.11 b/g/n (HT20)
	Frequency Range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz (2400 MHz ~ 2483.5 MHz)
	TX Power	802.11 b: +20 dBm
		802.11 g: +17 dBm
		802.11 n: +14 dBm
	Rx Sensitivity	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)		
802.11 n: -72 dbm (MCS7)		
Antenna	PCB Trace, External, IPEX Connector, Ceramic Chip	
Hardware	CPU	Tensilica L106 32-bit processor
	Peripheral Interface	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control
		GPIO/ADC/PWM/LED Light & Button
	Operating Voltage	2.5 V ~ 3.6 V
	Operating Current	Average value: 80 mA
	Operating Temperature Range	-40 °C ~ 125 °C
	Package Size	QFN32-pin (5 mm x 5 mm)
External Interface	-	
Software	Wi-Fi Mode	Station/SoftAP/SoftAP+Station
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network)
	Software Development	Supports Cloud Server Development / Firmware and SDK for fast on-chip programming
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP
	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

Anexo C – conexión eléctrica

