

Jornadas de Automática

Sistema de Monitorización de Entornos para Usuarios de Sillas de Ruedas

Perez, N., Mancisidor, A.*, Cabanes, I., Vermander, P., Portillo, E., Zubizarreta, A.

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (UPV-EHU), Ingeniero Torres Quevedo Plaza, 1, 48013, Bilbao, Bizkaia, España.

To cite this article: Perez, N., Mancisidor, A., Cabanes, I., Vermander, P., Portillo, E., Zubizarreta, A. 2024. Environment Monitoring System for Wheelchair Users. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10762>

Resumen

Este estudio aborda el desafío de hacer un seguimiento de los entornos de desplazamiento de los usuarios de sillas de ruedas, con el objetivo de proporcionar al personal sanitario datos cuantificables sobre su actividad diaria. Se presenta un sistema de monitorización que realiza un seguimiento continuo y en tiempo real de las variables cinemáticas y ambientales, analizando los efectos del movimiento de la silla y los factores externos en el estado funcional del usuario. El sistema integra una IMU, dos encoders y un sensor de humedad y temperatura en una silla de ruedas eléctrica. Para la validación del sistema se han realizado pruebas en diversos entornos, como rampas, giros bruscos, ascensores y baches, confirmando su eficacia. Este dispositivo robusto y fiable proporciona a los profesionales la información necesaria sobre el contexto específico de cada usuario, lo que contribuye a mejorar los tratamientos de rehabilitación y, en consecuencia, su calidad de vida.

Palabras clave: Tecnología asistencial e ingeniería de rehabilitación, Fusión de información y sensores, Control de vibraciones, Diseño de experimentos, Metodologías de diseño

Environment Monitoring System For Wheelchair Users

Abstract

This study addresses the challenge of tracking the movement surroundings of wheelchair users, with the aim of providing healthcare professionals with quantifiable data on their daily activity. A monitoring system is presented that performs continuous, real-time tracking of cinematic and environmental variables, analyzing the effects of chair movement and external factors on the user's functional status. The system integrates an IMU, two encoders and a humidity and temperature sensor in an electric wheelchair. To validate the system, tests have been conducted in various environments, such as ramps, abrupt turns, elevators and potholes, confirming its effectiveness. This robust and reliable device provides professionals with the necessary information about the specific context of each user, helping to improve rehabilitation treatments and, consequently, their life quality.

Keywords: Assistive technology and rehabilitation engineering, Information and sensor fusion, Vibration control, Experiment design, Design methodologies

1. Introducción

En España se estima que hay alrededor de 2,5 millones de personas con movilidad reducida (FMdP, 2019). Estas personas a menudo dependen de dispositivos de asistencia, como andadores (Souza et al., 2010) o sillas de ruedas (Arias et al., 2016), para desplazarse. Sin embargo, a pesar de contar con

estos dispositivos, se enfrentan a numerosos obstáculos debido a la falta de accesibilidad en los espacios públicos y privados, tales como escalones, rampas inadecuadas, curvas cerradas y baches, entre otros. Estas barreras pueden no solo dificultar su movilidad, sino también afectar a su bienestar físico y emocional (Koontz et al., 2021).

*Autor para correspondencia: aiziber.mancisidor@ehu.eus
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

En la actualidad, la evaluación del estado del paciente recae en gran medida en la observación y percepción de profesionales sanitarios. Son estos especialistas quienes llevan a cabo un análisis minucioso del contexto del paciente, adaptando los tratamientos en función de las necesidades individuales. Para contribuir a este proceso, sería beneficioso que los especialistas sanitarios dispongan de información sobre la actividad diaria de los usuarios, como si han estado sin realizar actividad física durante 24 horas, si se han desplazado por suelos pedregosos o si han subido rampas, y cómo estas actividades afectan a su estado funcional. Para abordar este reto y proporcionar al experto sanitario información más cuantificada sobre el día a día de estos pacientes, es necesario monitorizar el entorno de los usuarios de sillas de ruedas. Entendiendo por entorno el conjunto de condiciones físicas que afectan el movimiento de los usuarios, incluyendo los tipos de superficies por las que se desplazan, las pendientes que deben subir o bajar, los giros y frenazos bruscos, ascensores y cualquier otra característica que pueda influir en su actividad diaria.

La incorporación de sistemas de monitorización del entorno se presenta como una opción especialmente prometedora en este sentido. Estos sistemas tienen el potencial de proporcionar información en tiempo real sobre el entorno circundante de la silla de ruedas, permitiendo al personal sanitario anticiparse a posibles situaciones de riesgo para la persona con movilidad reducida. Al obtener información cuantificada del entorno, los profesionales pueden tomar decisiones más informadas y proactivas en la adaptación de las terapias de rehabilitación. Además, puede analizar los patrones de desplazamiento del usuario y adaptar sus hábitos en consecuencia. Para lograr una monitorización efectiva sobre el entorno, se vuelve necesario medir una serie de variables significativas, como aceleraciones, velocidades, vibraciones, distancias, entre otras.

En la bibliografía, para medir las aceleraciones y velocidades de las sillas de ruedas, se recurre frecuentemente a dispositivos como los acelerómetros (Rahimunnisa et al., 2020). Estos instrumentos son capaces de detectar el movimiento, las paradas y la inclinación de las sillas de ruedas (Arias et al., 2016). Sin embargo, para obtener mediciones más precisas, se emplean unidades de medición inercial (IMU, por sus siglas en inglés, Inertial Measurement Unit), las cuales monitorizan de manera continua la velocidad angular, la orientación y las aceleraciones lineales mediante una combinación de acelerómetros y giroscopios (Popp et al., 2018; Chen and Morgan, 2018).

En personas con movilidad reducida, las IMUs no solo son útiles para identificar caídas y tropiezos (Marquez et al., 2011), sino también para estudiar y prevenir situaciones de vuelco de las sillas de ruedas (Takahashi and Murakami, 2018). En cuanto a la ubicación de los sensores, algunos estudios optan por colocarlos en el cuerpo del paciente para obtener unas mediciones más realistas (Popp et al., 2018; Chen and Morgan, 2018). Este planteamiento puede resultar invasivo para el usuario. Otros enfoques, en cambio, fijan los sensores a la estructura misma de la silla de ruedas, ya sea en el asiento (Arias et al., 2016; Garcia-Mendez et al., 2013), la rueda (Pansiot et al., 2011) o el respaldo (Gionata et al., 2014). Es importante señalar que no existe un consenso claro en la literatura respecto al posicionamiento óptimo de los

acelerómetros/IMUs, y su ubicación, en muchos casos, resulta dependiente de la aplicación.

Además, la medición precisa de las distancias recorridas por la silla de ruedas es crucial para poder cuantificar el nivel de actividad del sujeto. Este seguimiento se puede realizar mediante el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (Ren et al., 2021). Sin embargo, esta tecnología presenta limitaciones, especialmente en entornos interiores donde su señal puede ser deficiente o inexistente. Una alternativa es la aceleración lineal medida por las IMUs (Ogata et al., 2021). Aunque, el principal desafío de estos radica en la necesidad de realizar una doble integración de la aceleración para obtener la posición, lo que puede introducir errores significativos en los cálculos.

Por otra parte, la utilización prolongada de sillas de ruedas y el tipo de vía por el que se desplace puede dar lugar a la generación de vibraciones de cuerpo entero (VCE). Múltiples investigaciones han revelado que los usuarios de sillas de ruedas suelen verse expuestos a niveles de vibración que superan los límites recomendados por las normativas de seguridad, como la ISO 2631-1 (Garcia-Mendez et al., 2013) (Wolf et al., 2007). Este fenómeno se ha asociado con un riesgo aumentado de trastornos de la columna vertebral, fatiga muscular excesiva y alteraciones en el sistema nervioso (Garcia-Mendez et al., 2013; Dziechciowski and Kromka-Szydek, 2017). Por lo tanto, resulta importante medir de manera precisa las vibraciones que sufre los usuarios de sillas de ruedas. Para llevar a cabo mediciones de VCE, se han utilizado diversas estrategias, entre las que destacan el empleo de acelerómetros triaxiales ubicados en el respaldo y el asiento de la silla de ruedas (Garcia-Mendez et al., 2013), o exclusivamente en el asiento (Hashizume et al., 2008; Wolf et al., 2007).

Paralelamente, se ha demostrado que las condiciones ambientales pueden ser un factor importante para la salud de las personas (Placeres et al., 2007). Según algunos investigadores, las condiciones ambientales como altas temperaturas y alta humedad, pueden aumentar la fatiga en pacientes de silla de ruedas (Rahimunnisa et al., 2020; Arias et al., 2016).

Como se ha mencionado anteriormente, los movimientos bruscos, las caídas, las VCE y las condiciones ambientales extremas son riesgos potenciales asociados con la movilidad en una silla de ruedas, lo que puede tener un impacto significativo en el estado funcional y emocional del paciente. En este contexto, se identifica la necesidad de un dispositivo que monitorice activamente el entorno del usuario de la silla de ruedas, brindando así al personal sanitario información cuantificada de su actividad diaria, incluyendo los diferentes retos que superan, como rampas (tanto en subidas como bajadas), baches, suelos de diferentes relieves, etcétera. Aunque existen dispositivos en la literatura que se centran en la conducción autónoma o en la selección óptima de rutas para sillas de ruedas, ninguno de ellos aborda directamente la contribución a la rehabilitación y al tratamiento fisioterapéutico.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es diseñar un dispositivo capaz de monitorizar de manera efectiva el entorno del usuario de la silla de ruedas. Esto permitirá proporcionar al personal sanitario la información necesaria para una atención más eficiente y personalizada, mejorando así la calidad de vida y el bienestar de los pacientes con movilidad reducida.

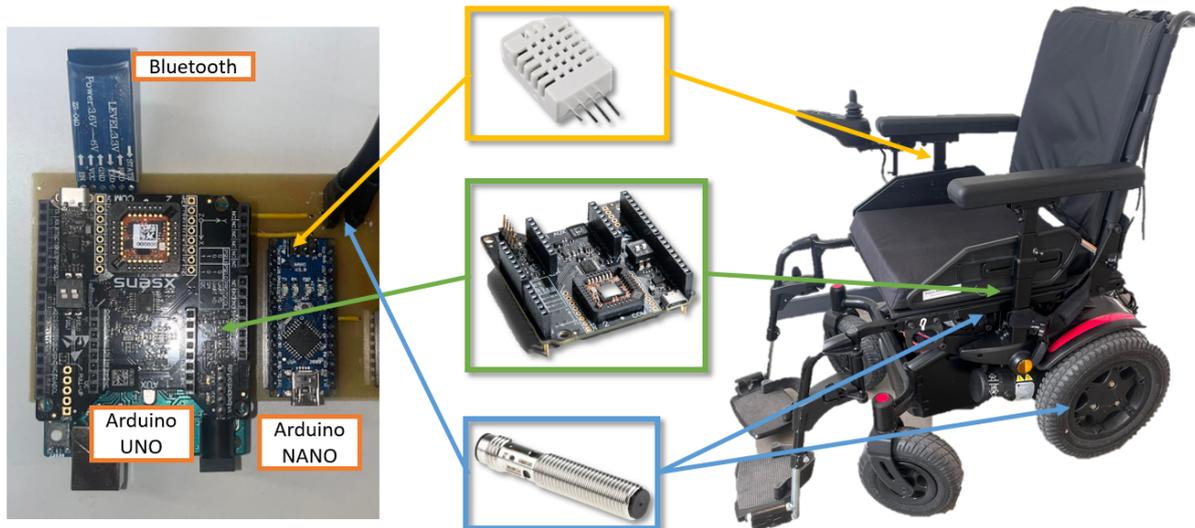


Figura 1: Dispositivo de monitorización de entornos. A la derecha el módulo Sensor (en amarillo el sensor de humedad y temperatura, en verde la IMU y en azul los encoders); a la izquierda, el módulo de Adquisición

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2, se presenta el sistema de monitorización de entornos desarrollado. En la Sección 3, se presentan diferentes ensayos experimentales de validación. Primero se definen los ensayos diseñados y después se presenta el análisis y la discusión de los resultados. Finalmente, en la Sección 4, se exponen las ideas principales y las conclusiones más relevantes.

2. Sistema de monitorización de entornos para usuarios de sillas de ruedas

Con la intención de detectar las variables del entorno que afectan a usuarios de silla de ruedas, se ha colaborado con profesionales sanitarios y usuarios de sillas de ruedas de la Federación Coordinadora de Personas con Discapacidad Física y/u Orgánica de Bizkaia (FEKOOR). A partir de sus necesidades, se ha diseñado y desarrollado un novedoso sistema de monitorización de entornos que se divide en dos módulos: un módulo sensor (Sección 2.1) que agrupa los diferentes sensores necesarios para medir el movimiento de la silla de ruedas, y un módulo dedicado a la adquisición y visualización de los datos obtenidos (Sección 2.2).

2.1. Módulo Sensor

El módulo Sensor (a la derecha en la Fig. 1) ha sido diseñado con el objetivo de no ser intrusivo y no afectar la actividad diaria de los usuarios, por lo que se ha colocado en la silla de ruedas. Este está formado por diferentes sensores para realizar un seguimiento detallado de las variables de interés: una IMU, dos encoders y un sensor de temperatura y humedad.

Con objetivo de medir los movimientos que realiza la silla como aceleraciones, rampas y giros se ha incorporado una IMU (en verde en la Fig. 1). Se ha seleccionado la MTI-3-DK de Xsens debido a su reconocida precisión y fiabilidad en la captura de datos. Esta cuenta con un giroscopio de 3 ejes, un acelerómetro de 3 ejes y un magnetómetro de 3 ejes, lo que permite obtener mediciones detalladas sobre la velocidad

angular, la aceleración lineal y la orientación en tres dimensiones.

Específicamente, las mediciones de aceleración lineal en el eje Z son particularmente útiles para monitorizar las vibraciones de cuerpo entero. Sin embargo, es importante destacar que la integración de la IMU presenta ciertos desafíos técnicos, especialmente relacionados con la precisión de las mediciones. Para abordar este problema, se ha llevado a cabo un estudio detallado sobre el posicionamiento óptimo con diferentes ubicaciones de medida (en el chasis, bajo el asiento, en el reposabrazos y en el respaldo de la silla de ruedas) (Perez et al., 2023). Este estudio concluye que para evitar interpretaciones erróneas de las mediciones causadas por movimientos involuntarios y holguras, la IMU se debe colocar en el chasis debajo del asiento. La sujeción adecuada del sensor al chasis garantiza una óptima transmisión de las vibraciones, lo que permite una medición más precisa de su efecto en el usuario. Este sensor permite detectar el recorrido que realiza el usuario, siguiendo como son los giros que realiza, los frenazos, las vibraciones de los baches que se encuentra, etcétera.

Asimismo, para medir la velocidad lineal y la distancia recorrida por el usuario a lo largo de su día tanto en espacios interiores como exteriores se ha desarrollado un encoder (en azul en la Fig.1) para cada rueda de la silla. Para ello, se han utilizado dos sensores de proximidad OMRON y una pieza metálica diseñada que cuenta con 12 agujeros cilíndricos adheridos. Los agujeros activan los sensores de proximidad obteniendo la distancia de cada una de las ruedas. Para validar el diseño del encoder, se han realizado pruebas de validación para todas las velocidades de la silla, asegurando así su correcto funcionamiento en diversos escenarios.

Por otro lado, con la intención de monitorizar las variables ambientales que pueden afectar a los usuarios de silla de ruedas, se ha añadido un sensor DHT22 (en amarillo en la Fig. 1). Este sensor obtiene medidas de temperatura y humedad ambiental, factores que pueden influir en el estado funcional del paciente.

Estos componentes se han incorporado en una silla de rue-

das eléctrica siendo, de la misma manera, fácilmente integrales en las sillas manuales. Son sensores sencillos que se caracterizan por su durabilidad, precisión y fácil mantenimiento. Todo ello hace que el módulo de sensor sea una solución ideal para una amplia variedad de usuarios de silla de ruedas, incluidos aquellos con recursos económicos limitados.

2.2. Módulo de Adquisición

El módulo de Adquisición (a la izquierda en la Fig. 1) se encarga de adquirir, sincronizar y almacenar todas las señales obtenidas de los sensores detallados en la sección anterior. La adquisición de datos se realiza a través de dos placas Arduino comunicadas por el protocolo I2C con una frecuencia de 10Hz: un Arduino UNO maestro y un Arduino NANO esclavo.

A pesar de que un Arduino UNO tiene la capacidad suficiente para controlar todos los sensores, se ha optado por separar los sensores inductivos a un Arduino secundario. Esto se debe a que los sensores de proximidad generan interrupciones cada vez que detectan el agujero en el disco metálico de la rueda, lo que podría interferir con la adquisición de datos de los otros sensores. Para evitar que estas interrupciones afecten al sistema en su totalidad, se ha dividido el sistema en dos placas Arduino. El Arduino Nano se encarga de los sensores de proximidad inductivos, mientras que el Arduino UNO gestiona la placa Xsens MTI-3-DK, el sensor DHT22 y el módulo de conexión inalámbrica HC-06. Esto permite que la placa transmita datos sincronizados en tiempo real de forma inalámbrica mediante Bluetooth a un ordenador o teléfono móvil remoto. Ambas placas Arduino se alimentan con la batería propia de la silla de ruedas, lo que proporciona más de 24 horas de recopilación continua de datos.

Además, se han diseñado dos interfaces: una para el móvil y otra para el ordenador. La primera permite almacenar los datos utilizando el propio móvil del usuario, sin necesidad de llevar un ordenador portátil. Por otro lado, la aplicación para el ordenador posibilita al personal sanitario visualizar y analizar los datos, lo que permite realizar un estudio más estructurado de la información relevante posterior a la adquisición.

En general, este sistema de monitorización está diseñado para ser fácil de instalar y usar. Este ofrece un seguimiento en tiempo real del movimiento de la silla de ruedas, lo que proporciona información sobre el entorno del usuario al personal sanitario.

3. Ensayos experimentales de validación

Con el propósito de validar el sistema de monitorización de entornos para usuarios de silla de ruedas creado, se han diseñado diversos ensayos experimentales. En la Sección 3.1 se definen los ensayos y en la Sección 3.2 se presenta el análisis y discusión de los resultados.

3.1. Definición de los ensayos

El objetivo principal de estas pruebas es confirmar la correcta ubicación de los sensores y verificar que el sistema desarrollado es capaz de monitorizar el entorno. Esto permitirá al personal sanitario obtener un contexto completo sobre las condiciones que rodean a los usuarios de sillas de ruedas, las

cuales pueden afectar su estado funcional y emocional. Por ello, estas pruebas se han planificado simulando situaciones y desafíos cotidianos típicos a los que se enfrentan los usuarios de sillas de ruedas. Para identificar los entornos más significativos, se han seguido las recomendaciones e indicaciones del personal sanitario y los usuarios de sillas de ruedas de FEKOOR (Federación Coordinadora de Personas con Discapacidad Física y/u Orgánica de Bizkaia). A continuación se detallan los ensayos de validación realizados.

- Trayectorias rectas: Se han realizado pruebas en línea recta que consisten en recorrer un corredor de 36 metros a velocidad continua.
- Frenazos y aceleraciones: Se recorre el pasillo de 36 metros, pero acelerando y desacelerando cuatro veces en distintos tramos.
- Giros: Se han realizado giros estáticos y dinámicos de 90° y 180° hacia la derecha y la izquierda.
- Rampas: Se han realizado pruebas en tres rampas con diferentes inclinaciones: 2°, 4° y 7°. Tanto la subida como la bajada se han realizado en pendientes interiores y exteriores.
- Recorridos libres: Se han realizado dos recorridos libres. El primero consiste en subir una larga rampa de 2° en el exterior, girar a la derecha y bajarla. La segunda prueba consiste en dar giros alrededor de columnas en el interior de un edificio.
- Ascensores: Utilizado el ascenso y descenso en 3 tipos de ascensores diferentes, se han hecho pruebas subiendo varios pisos consecutivos (hasta 10 pisos) y también deteniéndose en diferentes pisos.
- Pavimentos: El sistema se ha probado en cuatro tipos de pavimentos: suelo liso, dos tipos de pavimento podotáctil y suelo rayado. Las pruebas se han realizado tanto en interiores como en exteriores.
- Baches: Se han realizado pruebas cruzando vías de tranvía, alcantarillas y entradas/salidas de ascensores para identificar los diferentes relieves.

Para llevar a cabo estas pruebas, se ha utilizado una silla de ruedas eléctrica comercial. La silla seleccionada ha sido una QUICKIE Q200 R de Sunrise Medical, donde se integra el sistema de monitorización de entornos detallado. Esta silla cuenta con cinco velocidades de conducción diferentes: V1 a 3 km/h, V2 a 5 km/h, V3 a 7 km/h, V4 a 9 km/h y V5 a 10-11 km/h.

Un total de cinco sujetos sanos de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), tres hombres y dos mujeres, han completado los ensayos. Antes de llevar a cabo las pruebas, los participantes han firmado un formulario de consentimiento para participar en el estudio. Estos ensayos se han realizado con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad del País Vasco (M10-2022-007).

3.2. Análisis y discusión de los resultados

A continuación se detallan los resultados de dos de las pruebas de validación más relevantes: un giro de 90 grados y el proceso de descenso y salida del ascensor.

Ensayo 1: Giro de 90° hacia la izquierda

En el primer ensayo seleccionado, se ha examinado un giro repentino de 90 grados hacia la izquierda. Al hablar con los usuarios de sillas de ruedas, destacaron que este tipo de maniobras son comunes debido a la falta de adaptación de muchos espacios para permitir giros más amplios. Además, este problema puede ser especialmente desafiante para aquellos usuarios que carecen de fuerza en la columna vertebral, ya que realizar giros bruscos puede resultar perjudicial para su postura y bienestar físico.

En la Figura 2 se presentan las mediciones realizadas por el sistema durante la ejecución de este giro. Se muestran las dos variables que identifican la actividad del giro de manera cuantificada. En el gráfico superior, en azul, se muestra la velocidad angular en el eje z que activa el giro, mientras que en el gráfico inferior, en rojo, se representa el cambio de orientación en el eje Z (Yaw). La velocidad angular que se alcanza es de casi 1.5 rad/s en la velocidad mínima de la silla y se puede observar como el Yaw indica un cambio de alrededor de 90 grados. Estos datos revelan la capacidad del sistema para detectar y medir cambios de orientación bruscos que ocurren en cuestión de segundos, proporcionando una visión clara de cómo el dispositivo puede ser una herramienta para monitorizar y prevenir posibles riesgos asociados con este tipo de movimientos.

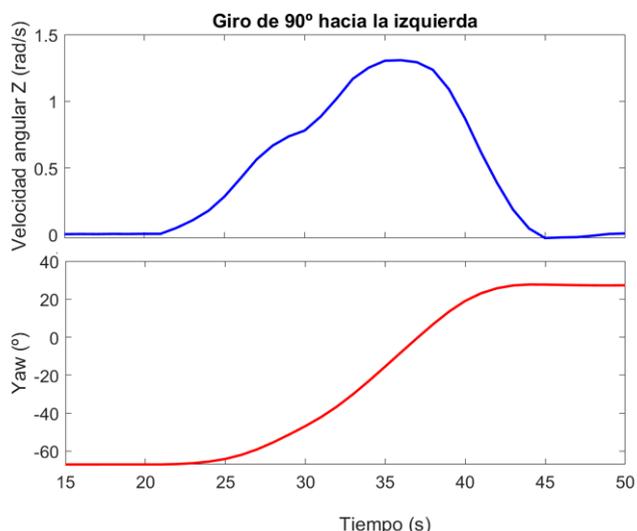


Figura 2: Mediciones del sistema de monitorización de entornos en un giro de 90 grados. Arriba la velocidad angular en Z y debajo el cambio de orientación en Z (Yaw).

Ensayo 2: Ascensor

La segunda prueba seleccionada consiste en el descenso de solo un piso en ascensor y la posterior salida del ascensor. Los ascensores, al ser espacios reducidos, suelen requerir maniobras precisas, lo que puede representar un desafío para usuarios de sillas de ruedas. Además, las entradas y salidas pueden ser problemáticas debido al hueco/bache de paso que

hay y generar un impacto significativo en la estabilidad del usuario. Por tanto, esta prueba se ha considerado esencial para evaluar la capacidad del dispositivo de monitorización en detectar y registrar cambios bruscos de movimiento.

En la Figura 3, se pueden apreciar detalladamente las mediciones de la aceleración en Z realizadas por el sistema de monitorización de entornos. El tramo amarillo representa la aceleración del ascensor al iniciar el descenso, seguido por las secciones naranjas que muestran la deceleración al llegar al piso deseado. Estas dos partes permiten determinar cual es el entorno en el que se está moviendo el usuario de silla de ruedas. Finalmente, en la zona rosa se observan las vibraciones producidas durante la salida del ascensor, las cuales superan los $\pm 1 m/s^2$, indicando un riesgo potencial para la integridad y la estabilidad del usuario. Si este tipo de vibraciones se mantiene de manera prolongada el usuario podría llegar a sufrir vibraciones de cuerpo entero (VCE). Además, observando el resto de pruebas, los resultados muestran una correlación entre la velocidad de la silla de ruedas y el aumento de las vibraciones, especialmente en el eje Z, que es la variable principal a considerar para las VCE.

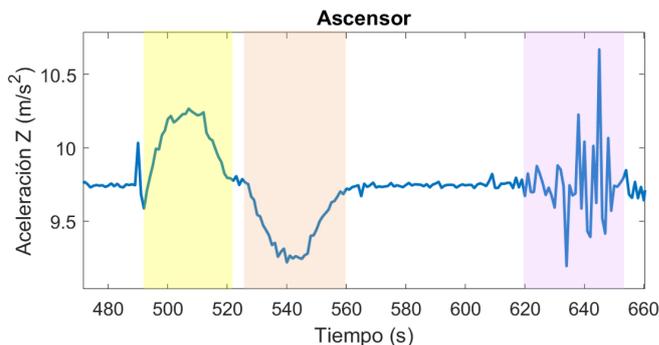


Figura 3: Medición de la aceleración en Z del dispositivo al bajar un piso en ascensor y el bache de salida del mismo.

Tras analizar todas las pruebas realizadas, se concluye que los resultados obtenidos muestran la necesidad de incluir todos los sensores para garantizar una monitorización adecuada de la actividad diaria de los usuarios de sillas de ruedas.

La IMU integrada en el chasis de la silla de ruedas ha demostrado ser capaz de medir las aceleraciones y, por lo tanto, identificar las vibraciones experimentadas por el usuario. Además, las mediciones de orientación, como Pitch (en el eje Y) y Yaw (en el eje Z), han permitido identificar entornos como pendientes y giros, lo que proporciona información valiosa sobre la actividad realizada por el usuario. Específicamente en las dos pruebas mostradas, se ha observado que las mediciones de aceleración lineal, orientación y velocidad angular proporcionadas por la IMU son cruciales para la identificación de estos entornos.

Por último, la inclusión de encoders ha permitido realizar un seguimiento preciso de la distancia recorrida durante las pruebas, detectando paradas bruscas y proporcionando información sobre el estado activo o inactivo de la silla de ruedas. Además, el sensor DHT22 ha sido capaz de proporcionar datos de temperatura y humedad del ambiente donde se utiliza la silla, lo que contribuye a tener una percepción más completa y realista de las condiciones ambientales en las que se

encuentra el usuario. En conjunto, estos resultados respaldan la necesidad de integrar todos los sensores para una monitorización cuantificada y continua del entorno que rodea a los usuarios de silla de ruedas en su actividad diaria.

4. Conclusiones

Los usuarios de sillas de ruedas se encuentran con numerosas dificultades en su día a día que pueden alterar su estado funcional, fatiga e inferir en un empeoramiento significativo de su bienestar. Para abordar esta problemática, se ha desarrollado un sistema de monitorización innovador que proporciona información detallada sobre el entorno del usuario de silla de ruedas al personal sanitario encargado de su cuidado.

Este sistema de monitorización, compuesto por un sensor IMU, un sensor de temperatura y humedad, y dos encoders, ofrece un seguimiento continuo en tiempo real de las variables relevantes como la distancia recorrida, la orientación, la velocidad angular y las vibraciones transmitidas, entre otras. Su diseño robusto y bajos coste y su interfaz de fácil uso lo convierten en una herramienta con potencial para identificar el entorno en el que se desenvuelven los usuarios de sillas de ruedas y analizar como este puede afectarles.

Durante las pruebas de validación, se ha confirmado la capacidad del sistema para detectar y registrar de manera precisa el entorno del usuario, incluyendo rampas, giros, baches, frenazos y otras dificultades comunes. Además, la capacidad de cuantificar la actividad del usuario, tanto en interiores como en exteriores, proporciona una ventaja sobre otros sistemas, como el GPS.

En resumen, la implementación de este dispositivo tiene el potencial de mejorar significativamente la evaluación del paciente en silla de ruedas. Esto proporciona al especialista el contexto del entorno del usuario junto con mediciones de su actividad diaria que permiten un análisis más profundo, facilitando la planificación de tratamientos más efectivos.

En trabajos futuros, las actividades mencionadas de los usuarios de sillas de ruedas podrán identificarse mediante técnicas inteligentes. Esto permitirá la clasificación automatizada de actividades con alta precisión y fiabilidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por: FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación - Agencia Estatal de Investigación/Proyecto PID2020-112667RB-I00 financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033, el Gobierno Vasco, IT1726-22, Programa Misiones 2.0. de la Fundación Euskampus (proyecto NEURO TIP), así como por el contrato predoctoral PRE-2023-2-0176 del Gobierno Vasco. Los autores expresan su agradecimiento a la Federación Coordinadora de Personas con Discapacidad Física y/u Orgánica de Bizkaia (FEKOOR) por su ayuda.

Referencias

Arias, D. E., Pino, E. J., Aqueveque, P., Curtis, D. W., 2016. Unobtrusive support system for prevention of dangerous health conditions in wheelchair users. *Mobile Information Systems*, 362–367.
DOI: 10.1155/2016/4568241

Chen, P.-W. B., Morgan, K., 1 2018. Toward community-based wheelchair evaluation with machine learning methods. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering* 5, 1–9.
DOI: 10.1177/2055668318808409

Dziechciowski, Z., Kromka-Szydek, M., 3 2017. Vibration transmitted to the human body during the patient's ride in a wheelchair. *Archives of Acoustics* 42, 137–148.
DOI: 10.1515/AOA-2017-0015

FMdP, F. M. d. P. (Ed.), 2019. *Movilidad reducida y accesibilidad en edificios de viviendas. Hábitos y necesidades de las personas con movilidad reducida*. Fundación Mutua de Propietarios, Madrid.

García-Mendez, Y., Pearlman, J. L., Boninger, M. L., Cooper, R. A., 2013. Health risks of vibration exposure to wheelchair users in the community. *The Journal of Spinal Cord Medicine* 36(4):365-75.
DOI: 10.1179/2045772313Y.0000000124

Gionata, C., Francesco, F., Alessandro, F., Sabrina, I., Andrea, M., 2014. An inertial and qr code landmarks-based navigation system for impaired wheelchair users. *Ambient Assisted Living*, 205–214.
DOI: 10.1007/978-3-319-01119-6_21

Hashizume, T., Kitagawa, H., Yoneda, I., Takami, M., Fujisawa, S., Sueda, O., Kamata, M., 2008. Study on the wheelchair user's body vibration and wheelchair driving torque when wheelchair is ascending / descending the boundary curb between pavement and roadway. *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 1273–1276.
DOI: 10.1109/SICE.2008.4654852

Koontz, A. M., Bass, S. R., Kulich, H. R., 2021. Accessibility facilitators and barriers affecting independent wheelchair transfers in the community. *Disability and Rehabilitation. Assistive technology* 16, 741–748.
DOI: 10.1080/17483107.2019.1710771

Marquez, A. F., Castillo-Effen, M., Fitzgerald, S., Moreno, W. A., 2011. Motion-logger: An attitude and motion sensing system. *IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference*, 5311–5316.
DOI: 10.1109/CDC.2011.6160833

Ogata, K., Tanaka, H., Matsumoto, Y., 2021. High accuracy three-dimensional self-localization using visual markers and inertia measurement unit. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1154–1160.
DOI: 10.1109/IROS51168.2021.9636749

Pansiot, J., Zhang, Z.-Q., Lo, B., Yang, G., 08 2011. Wisdom: Wheelchair inertial sensors for displacement and orientation monitoring. *Measurement Science and Technology* 22, 105801.
DOI: 10.1088/0957-0233/22/10/105801

Perez, N., Mancisidor, A., Cabanes, I., Vermader, P., 2023. Measuring the impact of vibration on wheelchair users. *Jornadas Nacionales de Robótica y Bioingeniería*, 279–284.
DOI: <https://doi.org/10.20868/UPM.book.74896>

Placeres, M. R., Álvarez Toste, M., Álvarez Pérez, A., 2007. Los factores ambientales como determinantes del estado de salud de la población. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* 45, 0–0.

Popp, W. L., Richner, L., Brogioli, M., Wilms, B., Spengler, C. M., Curt, A. E., Starkey, M. L., Gassert, R., 7 2018. Estimation of energy expenditure in wheelchair-bound spinal cord injured individuals using inertial measurement units. *Frontiers in neurology* 9:478.
DOI: 10.3389/FNEUR.2018.00478

Rahimunnisa, K., Brindhiniy, A. M., Divyaa, A. V., 2020. Ai-based smart and intelligent wheelchair. *Journal of Applied Research and Technology* 18, 362–367.
DOI: 10.1016/j.jart.2017.02.005

Ren, Y., Zheng, Z., Liu, H., Chen, Y., Li, H., Wang, C., 7 2021. Breathing sound-based exercise intensity monitoring via smartphones. *International Conference on Computer Communications and Networks*, 1–10.
DOI: 10.1109/ICCCN52240.2021.9522176

Souza, A., Kelleher, A., Cooper, R., Cooper, R. A., Iezzoni, L. I., Collins, D. M., 2010. Multiple sclerosis and mobility-related assistive technology: Systematic review of literature. *Journal of Rehabilitation Research and Development* 47, 213–224.
DOI: 10.1682/JRRD.2009.07.0096

Takahashi, I., Murakami, T., 10 2018. Fall prevention and vibration suppression of wheelchair using rider motion state. *International Power Electronics Conference*, 575–582.
DOI: 10.23919/IPEC.2018.8507650

Wolf, E., Cooper, R. A., Pearlman, J., Fitzgerald, S. G., Kelleher, A., 2007. Longitudinal assessment of vibrations during manual and power wheelchair driving over select sidewalk surfaces. *J. of Rehabilitation Research and Development* 44, 573–580.
DOI: 10.1682/JRRD.2006.05.0049