



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería de la Salud



**TFG del Grado en Ingeniería de la
Salud**

Título del trabajo

Presentado por Naiara Gadea Rodríguez Gómez
en la Universidad de Burgos

27 de junio de 2023

Tutor: Pedro Luis Sánchez Ortega



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería de la Salud



D. Pedro Luis Sánchez Ortega, profesor del departamento de departamento, área de área.

Expone:

Que el alumno D. Naiara Gadea Rodríguez Gómez, con DNI 71755517W, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería de la Salud titulado título del trabajo.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 27 de junio de 2023

Vº. Bº. del Tutor:

D. Pedro Luis Sánchez Ortega

Resumen

En este primer apartado se hace una **breve** presentación del tema que se aborda en el proyecto.

Descriptores

Palabras separadas por comas que identifiquen el contenido del proyecto
Ej: Dispositivo, control postural, servidor web, buscador de vuelos, android, agsda, asds, asddasf, asdfdfs, asdsdahas, asdfsadfas, asdf sadf.

Abstract

A brief presentation of the topic addressed in the project.

Keywords

keywords separated by commas. Dispositivo, Control postural. (En inglés)

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	v
Objetivos	1
Introducción	3
2.1. Conceptos teóricos básicos.	3
2.2. Estado del arte y trabajos relacionados.	8
Metodología	15
3.1. Descripción de los datos.	15
3.2. Técnicas y herramientas.	16
Conclusiones	27
4.1. Resumen de resultados.	27
4.2. Discusión.	27
4.3. Aspectos relevantes.	27
Líneas de trabajo futuras	29
Bibliografía	31

Índice de figuras

2.1.	Diagrama de la localización de la base de sustentación y los centros de masas, presiones y gravedad de una persona de pie.	4
3.1.	Placa de Arduino UNO.	18
3.2.	Protoboards.	18
3.3.	Cables de conexiones para arduino.	18
3.4.	Distintas resistencias.	19
3.5.	Leds de diferentes colores.	19
3.6.	Pulsadores.	20
3.7.	Cable USB.	20
3.8.	Motor de vibración.[36]	21
3.9.	Zumbador pasivo.	21
3.10.	Módulo SCA60C[38].	22
3.11.	Galgas extensiométricas y módulo HX711[41].	22
3.12.	Acelerómetro ADXL345[43].	23
3.13.	Sensor SW520D[45] y diagrama de su funcionamiento.	23
3.14.	Diagrama de las conexiones del sensor SW520D.	24
3.15.	Módulo MPU-6050[48].	24
3.16.	Diagrama de las conexiones del módulo MPU6050.	24
3.17.	Módulo MPU-9250[52].	25
3.18.	Diagrama del módulo MPU9250 con regulador de voltaje.	25
3.19.	Diagrama del módulo MPU9250 sin regulador de voltaje.	26

Índice de tablas

3.1. Resumen y comparación de posibles sensores o módulos que se pueden emplear en el proyecto	26
--	----

Objetivos

Objetivos principales del trabajo realizado.

Este apartado explica de forma precisa y concisa cuales son los objetivos que se persiguen con la realización del proyecto. Se puede distinguir entre:

1. Los objetivos marcados por los requisitos del software/hardware/análisis a desarrollar.
2. Los objetivos de carácter técnico, relativos a la calidad de los resultados, velocidad de ejecución, fiabilidad o similares.
3. Los objetivos de aprendizaje, relativos a aprender técnicas o herramientas de interés.
4. x
5. Este trabajo tiene como objetivo una búsqueda del estado del arte de dispositivos que tienen relación con el control postural y la creación de un dispositivo lo más sencillo y completo posible que sea capaz de identificar y avisar que una persona tiene una buena o mala postura para poder así abordar y mejorar la postura con aprendizaje dinámico.
6. Suponer una ayuda para la Asociación del Parkinson de Burgos.
7. Suponer una ayuda para distintos colectivos, básicamente para todos.
8. Demostrar que es posible dar soluciones técnicas desde la titulación de Ingeniería de la Salud a distintos perfiles de personas, a asociaciones de personas con discapacidad como puede ser la Asociación Parkinson BurgosReferenciar a la asociación www.parkinsonburgos.org, gracias a la realización de trabajos de fin de grado con fines sociales.

9.

Introducción

(Descripción del contenido del trabajo y de la estructura de la memoria y del resto de materiales entregados.)

Este trabajo surge de una visita a la asociación de Parkinson Burgos, los fisioterapeutas deseaban alguna solución para no estar pendientes continuamente de que las personas andaran correctamente erguidos.

Por otro lado, hoy en día estamos mucha parte de nuestro tiempo sentados, no siempre adoptando una buena postura.

Este problema no es único de personas con alguna afectación, sino que todos en algún momento adoptamos una mala postura y en algunos casos de forma continuada por lo que puede afectarnos a largo tiempo si no adoptamos medidas para corregir esa postura. Una mala postura puede producir un deterioro de los músculos, daños musculares, cambios en la morfología de la columna y dificultad para realizar tareas o movimientos.

2.1. Conceptos teóricos básicos.

Para llevar a cabo este trabajo hay que comprender su base, en este caso el control postural, qué es, su importancia y todo lo que ello conlleva.[1, 2]

Algunos de los conceptos básicos que se deben comprender y que están relacionados o engloban el control postural son:

- **Base de sustentación** será la superficie disponible sobre la que al cuerpo apoya su peso. 2.1¹

¹Esta imagen ha sido generada parcialmente empleando la inteligencia artificial DALL · E

- **Área de apoyo** es el área sobre la que el cuerpo descarga su peso de forma efectiva. En el caso de una persona de pie, el área de apoyo será el área correspondiente con la planta de los pies.
- **Centro de masas** [3] o CDM es la posición media de todos los centros de masas de las distintas partes del cuerpo. El CDM se encuentra relacionado con el equilibrio. El CDM es el punto de actuación de fuerzas uniformes sobre el objeto. 2.1
- **Centro de presiones** o CDP es la proyección del centro de masas del cuerpo sobre la base de sustentación .2.1
- **Centro de gravedad** o CDG es el punto del cuerpo donde se ejerce la fuerza de gravedad que afecta a la masa del cuerpo. Existen dos métodos para encontrar el centro de gravedad, el método de balanceo y el método de los pesos. 2.1



Figura 2.1: Diagrama de la localización de la base de sustentación y los centros de masas, presiones y gravedad de una persona de pie.

- **Postura** es la orientación y alineamiento del cuerpo respecto a su entorno.
- **Orientación postural** es la capacidad de mantener la relación entre las distintas partes del cuerpo y el entorno al realizar una actividad.
- **Sinergia postural** es la relación entre la contracción muscular y las rotaciones articulares para estabilizar la postura.

- **Balanceo postural** es el desplazamiento constante y la corrección del centro de gravedad para mantener la postura.
- **Límite de estabilidad** es el trayecto por el cual una persona puede realizar un movimiento sin perder su equilibrio y también puede realizar ajustes posturales. No se trata de un límite fijo, varía con el tiempo, la tarea que se esté realizando o el entorno en el que se encuentra.

La postura nace de la relación entre el entorno, el individuo y la actividad que debe realizar. Y, por tanto, el **control postural** se define como el control de la posición corporal en el espacio con el fin de obtener la estabilidad y la orientación que necesitamos para poder realizar las actividades diarias, profesión o aficiones.

La **estabilidad** es la capacidad de mantener la proyección del centro de gravedad dentro de una base de sustentación, mientras que la **orientación** es la capacidad de mantener la relación adecuada entre las distintas partes del cuerpo al realizar una tarea teniendo en cuenta el entorno.

Para poder cumplir con el objetivo del control postural el cuerpo tiene que poder anticiparse, mantenerse y reaccionar. Además, el control postural requiere que interaccionen distintos sistemas del cuerpo para abarcar la estabilidad, la percepción de la orientación espacial, el alineamiento del cuerpo, la lucha contra la gravedad al realizar un movimiento y la respuesta a posibles perturbaciones, ya sean de origen sensorial o mecánico.

Principalmente, en el control postural interviene el sistema nervioso, como centro de control, manteniendo la postura y el equilibrio gracias a la recogida e interpretación de información de los receptores y a la producción de órdenes; y, el sistema musculoesquelético, ya que se requiere de una musculatura capaz de adaptarse a los cambios. Además, como seres inteligentes que somos, se utilizan experiencias previas para elaborar el esquema corporal.

Por todo ello se va a conocer más a fondo la relación del sistema nervioso y la postura, algunas estrategias del control postural y su importancia o desarrollo.

El sistema nervioso y la postura.

El sistema nervioso se compone de diferentes estructuras como son las neuronas o las células de neuroglia, que se encargan de mantener la homeostasis corporal regulando y coordinando las distintas funciones del organismo.

Asimismo, el sistema nervioso se puede dividir en sistema nervioso central que se encuentra compuesto por la médula espinal y el encéfalo, y el sistema nervioso periférico que está compuesto por ganglios y nervios.

El sistema nervioso también se puede dividir en función del tipo de respuestas de las que se encargan, si se encarga de las respuestas involuntarios se trata del sistema nervioso autónomo que, a su vez, se divide en los sistemas simpático y parasimpático. Mientras que, si se encarga de las respuestas voluntarias del organismo se llama sistema nervioso somático.

Los receptores son los que se encargan de recoger la información que se envía al sistema nervioso mediante mecanismos de retroalimentación. Existen numerosos receptores y estos elementos se pueden encontrar en los músculos, para poder detectar el movimiento. Por otra parte, se necesita también la información recogida por la vista, el sistema vestibular del oído interno o las señales procedentes de las modificaciones de presión.

Si en algún caso se producen perturbaciones los receptores detectarán esos imprevistos y proporcionarán información acerca de las nuevas condiciones para así adaptar el tono postural. Por ejemplo, si los receptores de presión de los pies registran el desplazamiento mínimo durante la bipedestación se transmite la información por el nervio periférico, seguido de la medula espinal, el tracto espinocerebeloso y desde el cerebelo a la formación reticular y a los núcleos vestibulares. Si se desplaza la cabeza se crea una aceleración en dirección anterior que se registra y se transmite a los núcleos vestibulares.

Las reacciones de equilibrio son la respuesta al control postural, los núcleos vestibulares activan la musculatura de la 'core-stability' que está formada por los músculos del suelo pélvico, los músculos profundos paravertebrales y sacrolumbares, y, la musculatura abdominal y lateral. En función del tipo de desplazamiento se activarán una cadena u otra, ya sean la cadena anterior, la posterior, la lateral o combinaciones de las mismas.

Estrategias de control postural.

El control postural y los ajustes se dan en tronco, tobillos y caderas, de esta forma se puede mantener el equilibrio, creando la estabilidad que posibilita los movimientos al realizar distintas actividades.

Existe un modelo que define 3 elementos que modifican, construyen y mantienen la postura, el **modelo de sistemas dinámicos de Bernstein**. Los elementos en cuestión son los factores individuales, la tarea a realizar y el entorno.

Los factores individuales son aquellos pertenecientes a cada individuo, pueden variar su influencia con entrenamiento. Dentro de los factores individuales encontramos los elementos sensitivos que proporcionan información respecto al movimiento y la posición del centro de gravedad. Los elementos sensitivos incluyen

las aferencias visuales (posición respecto al entorno), el sistema somatosensitivo (son los receptores de los músculos, la piel u otros tejidos, dan información acerca de las variaciones de la orientación postural) y el vestibular (es básicamente el oído, posición de la cabeza). También encontramos los elementos motores que hacen referencia a las exigencias musculoesqueléticas (fuerza, flexibilidad o alineación de las partes del cuerpo) y neuromusculares (patrones de movimiento y contracción de los músculos) necesarias para el ajuste postural; y, los elementos cognitivos que refieren a las necesidades psicológicas y cognitivas relacionadas con la actitud postural.

Igualmente, existen diferentes estrategias de control de la postura, como aquellas que se centran en el equilibrio, controlando las oscilaciones o balanceos espontáneos. Algunas de estas estrategias son las de controlar la correcta alineación corporal, minimizando las fuerzas gravitatorias; el suficiente tono muscular mediante el control de la resistencia de un músculo a ser estirado; el correcto tono postural, a partir del control de la fuerza de gravedad; o, el control de las reacciones posturales o de balance mediante ajustes compuestos de reacciones de equilibrio, enderezamiento y de apoyo.

Por otro lado, la memoria implícita que se da en el cerebelo y en los núcleos basales proporciona información sobre dónde, cuánto y cómo se debe ajustar el tono postural para compensar los desplazamientos.

Otras estrategias para mantener el control postural son las que describen Shumway-Cook y Woollacott, la ‘ankle strategy’ que se basa en la bipedestación mantenida por la base de sustentación pequeña que serán los tobillos, la ‘hip strategy’ que se basa en controlar los centros de masas en un desplazamiento de peso mayor y la ‘stepping strateging’ que se basa en una base de sustentación aún mayor.

Desarrollo del control postural.

Las necesidades de estabilidad cambian con la tarea que se debe realizar. El desarrollo de control postural en niños se produce en tres etapas, primero, se debe desarrollar el control encefálico, después la sedestación (capacidad de sentarse) y, por último, la bipedestación.

Además, la postura y el equilibrio varían con la edad, por una parte, los niños pequeños[4] no tienen suficientemente desarrollado las aferencias sensoriales, y por otra los adultos mayores[5] presentan involución cognitiva de sus estructuras cerebrales, todos ellos ven disminuido el control postural.

Asimismo, pacientes con traumatismos craneoencefálico, esclerosis múltiple, infartos u otras lesiones en el sistema nervioso central pueden tener afectado alguno

de elementos implicados en el control de la postura y por lo que su control postural se verá afectado. En algunos casos también influyen los factores psicológicos, una persona con depresión o un problema de atención también puede llegar a influir sobre ese control postural.

2.2. Estado del arte y trabajos relacionados.

En la actualidad existen multitud de dispositivos electrónicos [6] compuestos de distintos sensores, actuadores y algoritmos cuya finalidad es algún tipo de control postural, ya sea regulándola o modificando la postura. Se podrían diferenciar según su aplicación final:

- Mejora de la estabilidad del equilibrio de las personas con alguna alteración en el control postural como pueden ser personas con parálisis cerebral, esclerosis múltiple, Párkinson...
- Prevención de una mala postura en personas que se encuentran sentadas o realizando alguna actividad.
- Monitorización de la postura como feedback para mejora de ergonomía en diferentes personas, por ejemplo, en atletas[7, 8].

Es necesario conocer las especificaciones que requerirán los dispositivos en función de la aplicación a la que se encuentren destinados. Algunas especificaciones que se deben tener en cuenta al diseñar o elegir un dispositivo electrónico de control postural son:

- Precisión y fiabilidad de los sensores y actuadores para detectar y responder correctamente a los cambios en la postura.
- Facilidad de uso y comodidad, para que se adapte a las necesidades del usuario y a su actividad.
- Autonomía y conectividad del dispositivo para que se adapte a las actividades que realiza el usuario.

Por todo ello se realiza un estudio de distintos dispositivos que existen en la actualidad cuya finalidad u funcionamiento es similar al objetivo de este proyecto.

Dispositivos de control postural

Realizar tabla comparativa de precios

- En el grupo de investigación de Redes de Neuronas Artificiales y Sistemas Adaptativos de la **Universidad de A Coruña** junto con la empresa Bioback de Puerto Rico se ha desarrollado un dispositivo inteligente no invasivo para la corrección postural utilizando estimulación vibratoria[9]. Este dispositivo se basa en el uso de ‘Biofeedback’ como medio de aprendizaje, condicionando las rutinas de los individuos.

El dispositivo está compuesto por una parte de hardware que incluye 3 secciones que se colocan en 3 partes de la columna vertebral (zona cervical (C1-T1), zona torácica (T1-L1) y zona lumbar (L1-L5)) siguiendo el modelo Goodvin. Cada sección del hardware esta formada por un grupo de sensores IMU (Unidad Inercial de Medida) que están compuestos por un acelerómetro triaxial, un giroscopio triaxial y un magnetómetro triaxial, que permiten obtener una lectura completa de la inclinación, la torsión y la flexión. Los IMUs son capaces de medir de 0° a 360° en cada eje, con una resolución de 0,1. Además, el dispositivo electrónico incluye un Sistema experto que incluye un módulo de conexión Bluetooth, una tarjeta SD para guardar los datos, una batería de litio interna recargable (16 horas de autonomía) y el sistema de vibración.

Los datos son procesados por un software que permite conocer en cualquier momento la posición exacta y puede reproducir el movimiento de cada sección de la columna vertebral. Por otro lado, gracias al software se puede configurar el umbral de desviación, las secciones activadas y el tiempo de activación para proporcionar la señal de retroalimentación, es decir, el estímulo vibratorio.

- **Wireless wearable T-shirt**[10]: es prototipo de una camiseta inteligente permite controlar la postura ya que incluye un sensor inductivo adherido a la camiseta de licra además de un sistema de biofeedback constante gracias a la conexión con aplicación y la señal de vibración que indica una mala postura. El sensor inductivo está formado por un alambre de cobre de un milímetro de diámetro que recorre toda la camiseta en zigzag y cuyo alargamiento modifica el valor de la impedancia generando un voltaje que se puede medir, y por lo tanto, al enderezar o encoger el cuerpo se puede observar un cambio de voltaje que se puede medir y que permite diferenciar entre una buena postura o una mala postura. Dispone de un circuito complementario al que se acopla el sensor y que incluye el módulo bluetooth, el módulo con el motor de vibración, el microprocesador y la batería. En el caso de que el algoritmo detecte una mala postura, se genera la señal vibratoria para incentivar al

usuario a modificar su postura. Se ha comprobado la utilidad del dispositivo comparando las respuestas con otros métodos ópticos obteniendo resultados satisfactorios. Este proyecto es solamente un prototipo y no tiene sistema de calibrado y no tiene en cuenta que cada persona no tiene las mismas características físicas por lo que no es posible utilizar el mismo dispositivo para todas las personas. Por otro lado, al ser un prototipo no se han realizado las suficientes pruebas sobre cómo afectaría el sensor en contacto con la piel durante un tiempo de uso continuado.

- **Sistema Upright Go 2** [11, 12, 13, 14, 15, 16]: es un dispositivo que se adhiere entre los omoplatos de la persona y controla la postura, enviando una vibración cuando se detecta una mala postura, para que el usuario modifique su postura. Está principalmente diseñado para personas que se encuentran sentadas frente a una pantalla. Se basa en el uso de 2 sensores de movimiento, giroscopios. Mide la postura 100 veces en un segundo.
- **Hipee Smart Posture Correction**[17, 18]: es un dispositivo similar al sistema Upright Go creado por la empresa Xiaomicitar la empresa. Es un dispositivo que se ajusta a la parte superior de la espalda del usuario a modo de collar y que en base a un sistema de sensores indica la postura del usuario. En caso de una mala postura, al superar el ángulo (ángulos entre 5 y 20º) que se ha incluido en la aplicación durante un tiempo determinado, se emite una señal de vibración a modo de recordatorio para que la persona recupere la postura correcta. Se puede conectar con su aplicación de monitorización vía Bluetooth, pudiendo obtener un informe diario y conocer los registros de los últimos 30 días. Tiene un peso de unos 50 gramos, una autonomía de hasta 90 horas y un precio aproximado de 30€. Está principalmente diseñado para un uso mientras la persona se encuentra sentada o de pie sin moverse mucho.
- **Sistema SPINE 3D**[19]: es un sistema de evaluación de patologías vertebrales y alteraciones posturales usando la detección optoelectrónica tridimensional, con unas cámaras RGB infrarrojas (Cámaras ToF) que identifican de forma automática los puntos de referencia en la espalda del paciente y además permiten su modificación de forma manual. Se obtiene una adquisición 3D de la parte superior del cuerpo teniendo en cuenta la longitud, la inclinación y el desequilibrio, desviación y rotación de la columna en los planos coronal, sagital y transversal, lo que ofrece al profesional un estudio completo del paciente y que le permitirá mejorar su diagnóstico y tratamiento. Se trata de un dispositivo que se utiliza de forma estática, donde el paciente se encuentra de pie y con la espalda descubierta delante del aparato.

- **Sistema dinámico de medición de la presión del pie**[20]: se trata de un manómetro médico, que obtiene la información basándose en el análisis de la marcha y el análisis de la presión que se ejerce sobre los pies y su distribución por la planta del pie. Para obtener la información sigue 3 pasos, primero, divide el monitor de presión del pie en 4 partes iguales donde la presión debe estar distribuida aproximadamente a un 25 % por cada parte, seguidamente, realiza 18 fotogramas por segundo del estado de la presión del pie y se comprueba que la distribución de la presión de cada pie se encuentre aproximadamente en un 30 % para la zona del talón y un 20 % para la zona delantera, por último, compara los resultados promedios de los fotogramas. Se puede usar de forma estática o de forma de dinámica para medir la postura.
- **Sistema 3D BAK**[21]: es un sistema de adquisición de la morfología del paciente que utiliza cámaras de alta resolución autocalibrables en diferentes planos para realizar reconstrucciones en 3D. Además, se miden las simetrías estructurales, la rotación de las articulaciones y la desviación de la columna vertebral y se evalúan en base a la Biomechanical Postural Index Scale **Pie de pagina**. Se devuelve un informe imprimible con la información de la rotación individual de cada vértebra y las extremidades, y, el alineamiento y desviaciones de la columna en 24 indicadores BPI y sus valores, para simplificar la tarea de diagnóstico del profesional. Es un dispositivo no invasivo y el 95,8 % de los resultados son exactamente iguales a los que se obtendrían al usar rayos X.
- **Sistema PGO**[22]: es un sistema de medición de la marcha que analiza varios parámetros que afectan a la marcha, mediante el uso de cámaras colocadas en distintos ángulos, un potente software y una cinta de correr. Analiza la inclinación de la cabeza, el nivel de la postura de cabeza hacia delante, el nivel de cifosis, la diferencia de amplitud del movimiento de entre los brazos, la diferencia de altura de los lados de los hombros y de la pelvis, la diferencia entre la longitud de los pasos, la pronación y supinación y la marcha del dedo del pie.
- **Sistema GPA**[23]: Es un sistema de medición corporal a partir de la presión que se ejerce en la planta del pie y el análisis de la marcha. El dispositivo utiliza distintas cámaras para analizar las vistas anterior, superior y lateral, además también incluye una placa con una serie de sensores de presión. Este dispositivo permite realizar una evaluación estática, una evaluación dinámica y una podoscopia.

Sistemas no específicos de control postural que podrían ser empleados para el control postural

- **Sistema PLIANCE[24, 25]:** es un sistema inalámbrico de medición de la presión. Utiliza una matriz de transductores capacitivos Novel para medir la distribución de la carga sobre cualquier superficie. Los elementos y las características del transductor son fabricados por la propia empresa (Novel) de forma personalizada en función de las necesidades de medición. Este dispositivo se puede comunicar con el PC utilizando USB, Bluetooth y también admite almacenamiento de los datos en una tarjeta SD. Se ha añadido este sistema porque en base a la distribución de la presión en los pies se puede determinar la postura.
- **Siren Diabetic Socks[26, 27]:** son unos calcetines inteligentes diseñados para la prevención de úlceras en los pies de personas diabéticas. Este sistema incluye unos sensores de temperatura que recogen las medidas de temperaturas cada 10 segundos con una capacidad para medir entre 20°C y 40°C. Los datos recogidos por los sensores se envían a un equipo especializado de profesionales sanitarios que procesan esos datos. Estos calcetines están incluidos en distintos seguros de salud como es Medicare. Estos calcetines previenen de posibles úlceras, gangrena y una posterior posible amputación. Estos calcetines monitorizan la temperatura de la parte inferior de los pies. Estos calcetines deben ser prescritos por un profesional. Consta de una aplicación móvil que emite alertas ante aumentos significativos de temperatura. De este dispositivo se podría utilizar el formato de calcetines, utilizando sensores de presión o similar en vez de sensores de temperatura, o de forma complementaria.
- **Dispositivos inteligentes en la práctica de yoga[28]:** existen distintos dispositivos inteligentes enfocados a la mejora de la práctica de yoga que monitorizan las posturas que adopta la persona durante la realización de este deporte. Por ejemplo existen unos leggins inteligentes que incluyen sensores y un dispositivo de feedback vibratorio, Nadi X, Smart Yoga Pants[29], creado por la empresa Wearable X. Otro de los dispositivos es una esterilla de yoga con sensores de presión para el control de las posturas de este deporte.

En base a los dispositivos vistos se pretenderá realizar un prototipo de uso general basándose en sensores capaces de registrar la inclinación de una persona, es decir, sensores capaces de detectar una buena o mala postura. El dispositivo será inalámbrico y vendrá acompañado por una aplicación móvil que proporcionará una mejor experiencia de usuario y un mayor conocimiento de la postura del usuario. Además, el dispositivo al ser inalámbrico deberá contar con una batería

de alimentacion y deberá tener la menor cantidad de cables posible para la mayor comodidad del usuario.

Metodología

3.1. Descripción de los datos.

Breve descripción de los datos. En caso de tratarse de un trabajo donde los datos son muy importantes, puede haber explicaciones extra en el anexo correspondiente. yo creo que aquí puedes describir los datos que vas a recoger, sean muchos o pocos. Date cuenta que pocos datos pero de muchísimas personas si son ya una entidad de estudio. Pero creo que si es necesario indicar el tipo de datos y su magnitud. Para mostrarlo desde el principio. Puedes también hacer referencia a las unidades de ángulos de rotación o inclinación, aceleraciones en un punto determinado y movimientos

Para la elaboración del proyecto no se han empleado datos predefinidos, se han utilizado datos de elaboración propia. Se pueden distinguir entre datos proporcionados por los usuarios y datos proporcionados por el dispositivo.

Por un lado, existen los datos que hayan sido proporcionados por el usuario, al crear su cuenta en la aplicación del dispositivo. Estos datos son datos personales, como su nombre, apellidos, nombre de usuario, correo electrónico, edad o contraseña. Estos datos deberán ser debidamente protegidos según las leyes españolas relativas (Ver anexo A).

Por otro lado, tenemos aquellos datos que se recopilan cada vez que se realiza la monitorización de la postura del usuario, ya se encuentre la persona sentada o de pie. Se realizan mediciones cada medio segundo a través del dispositivo. En cada medición se obtendrán en los 3 ejes (ejes x, y y z) aceleraciones en m/s^2 , rotaciones en deg/s y ángulos de inclinación en deg . Los ángulos de inclinación se han obtenido a partir de la triangulación de las aceleraciones y son los que se han empleado principalmente en el prototipo para la diferenciación entre una buena y una mala postura en base a un umbral establecido.

Si se detecta una postura perjudicial, porque se ha superado el ángulo umbral durante un tiempo determinado se realizará una señal de biofeedback para que el usuario recupere una postura correcta y de esta forma se logrará que se desarrolle la postura natural correcta y saludable. Una postura correcta prevendrá al usuario de posibles lesiones y permitirá un mejor desarrollo de algunas actividades.

En el futuro, la recopilación de estos datos de muchas personas puede permitir realizar estudios estadísticos acerca de la postura en distintas condiciones, como la postura en función de la edad, sexo o actividad.

3.2. Técnicas y herramientas.

Esta parte de la memoria tiene como objetivo presentar las técnicas metodológicas y las herramientas de desarrollo que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto. Si se han estudiado diferentes alternativas de metodologías, herramientas, bibliotecas se puede hacer un resumen de los aspectos más destacados de cada alternativa, incluyendo comparativas entre las distintas opciones y una justificación de las elecciones realizadas.

Aplicaciones empleadas.

Para el desarrollo del proyecto se han empleado una serie de aplicaciones gratuitas que hemos podido conocer y utilizar a lo largo de la duración del grado.

- **Overleaf**[30]: es un editor LaTeX colaborativo en línea, que se emplea para la creación, edición y publicación de documentos científicos. LaTeX es una herramienta que a partir del procesamiento de un documento de texto plano compuesto por texto y comandos LaTeX por el software de TeX engine convierte los comandos LaTeX y el texto del documento en un archivo PDF profesional. Esta es la herramienta que se ha empleado para la realización de este documento. Se puede acceder a través de <https://www.overleaf.com>
- **Diagrams.net**[31]: es una aplicación de código abierto para la realización de diagramas online, con gran cantidad de librerías de formas para su realización. Esta aplicación es la que se ha empleado para la realización de la gran mayoría de diagramas del proyecto y los prototipos de interfaz. Se puede acceder a través de: <https://www.diagrams.net>
- **Tinkercad**[32]: es una aplicación web gratuita que permite desarrollar habilidades de diseño 3D, electrónica y programación, sin necesidad de utilizar ningún tipo de software adicional. En este proyecto se ha empleado esta herramienta para la simulación del diseño del circuito electrónico, ya que permite

realizar circuitos y componentes desde 0 o empleando sus circuitos predefinidos. Además, esta aplicación consta de un editor de código que permite programar las simulaciones. Se puede acceder a través de: <https://www.tinkercad.com>

- **Arduino**[33, 34]: plataforma de código abierto de electrónica basada en hardware y software simple y accesible, originalmente creada para la creación rápida de prototipos. Existen diferentes placas de Arduino con distintas funciones. Se puede introducir en el microcontrolador un conjunto de instrucciones que se quiere que realice el dispositivo mediante el uso del software de Arduino (IDE), estas instrucciones están escritas en el lenguaje de programación Arduino, que es similar a C++ pero simplificado, además se puede expandir el lenguaje utilizando distintas bibliotecas C++. Esta plataforma es muy utilizada y ha permitido crear gran variedad de proyectos. Su sencillez, accesibilidad y coste son las principales razones por las que se ha pensado en realizar el prototipo de este proyecto basado en esta plataforma.
- **GitHub**[35]: plataforma gratuita en línea de código abierto cuyo objetivo principal es el desarrollo colaborativo de software, para ello se basa en su sistema de control de versiones. GitHub fue construida empleando herramientas de código abierto como Ruby on Rails, Go, Primer, React o Kafka. Además, esta plataforma permite no solo la creación de proyectos públicos sino que también proyectos privados, que se guardan en la nube. Por otro lado, GitHub también tiene distintas herramientas que mejoran y dinamizan el desarrollo de los proyectos. Esta plataforma se ha empleado para llevar el seguimiento del proyecto y recopilar todos los documentos relacionados en un repositorio.

Herramientas.

Modificar IMÁGENES

- **Placa de Arduino**[33, 34]: se utilizará como microcontrolador la placa de Arduino UNO R3. Esta placa es la más sencilla, robusta y utilizada que ofrece Arduino. El microcontrolador basado en ATmega328P. La placa tiene 14 pines digitales y 6 pines analógicos. Además, cuenta con un conector USB, un conector de alimentación, un botón de reinicio, un resonador de cerámica de 16 MHz y cabezal ICSP. 3.1
- **ProtoBoard**: placa sobre la que se construyen los circuitos electrónicos, se trata de una matriz de clavijas donde se insertan los componentes electrónicos.3.2
- **Cableado**: alambres de un material conductor cubiertos por un material aislante que permiten las distintas conexiones del circuito.3.3



Figura 3.1: Placa de Arduino UNO.

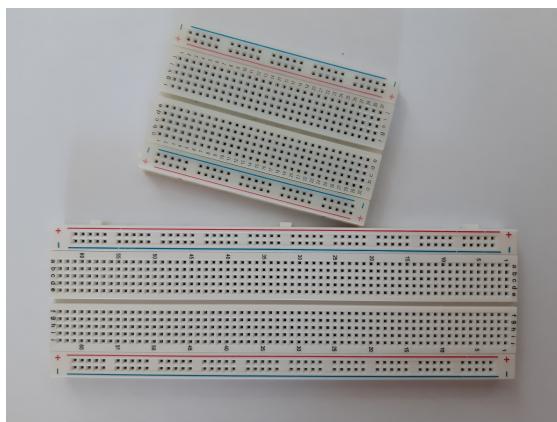


Figura 3.2: Protoboards.

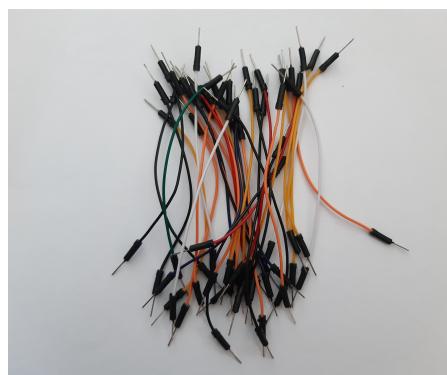


Figura 3.3: Cables de conexiones para arduino.

- **Resistencias:** componentes electrónicos que limitan el flujo de energía eléctrica del circuito. El valor de cada resistencia viene dado por un código de colores.^{3.4}

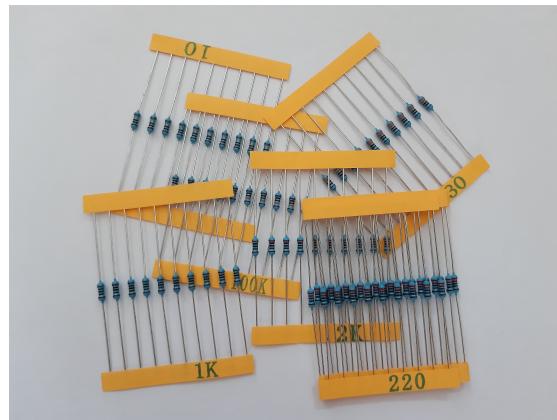


Figura 3.4: Distintas resistencias.

- **Leds:** diodo que se ilumina cuando pasa una corriente eléctrica por él. Existen leds de diferentes colores.^{3.5}



Figura 3.5: Leds de diferentes colores.

- **Pulsador:** componente que según su estado permite cortar o admitir el paso de corriente. En función de su estado se realizará una acción específica u otra.^{3.6}



Figura 3.6: Pulsadores.

- **Cable USB:** conector que permite introducir las instrucciones programadas en un ordenador a la placa de Arduino.3.7

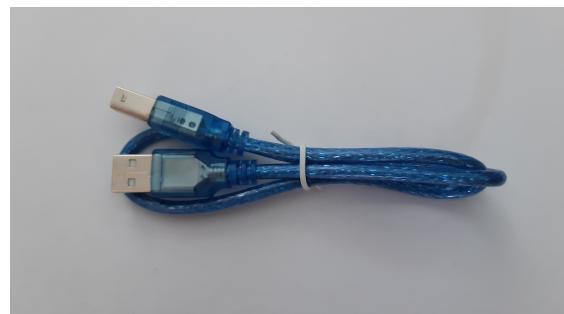


Figura 3.7: Cable USB.

- **Motor de vibración:** componente electrónico que al alimentarlo causa un efecto vibratorio. En este proyecto su finalidad será la de alertar al usuario mediante un biofeedback de señal vibratoria.3.8
- **Zumbador pasivo:** un transductor electroacústico que transforma una señal acústica en un efecto sonoro. En este proyecto su finalidad será la de alertar al usuario mediante un biofeedback de señal sonora.3.9

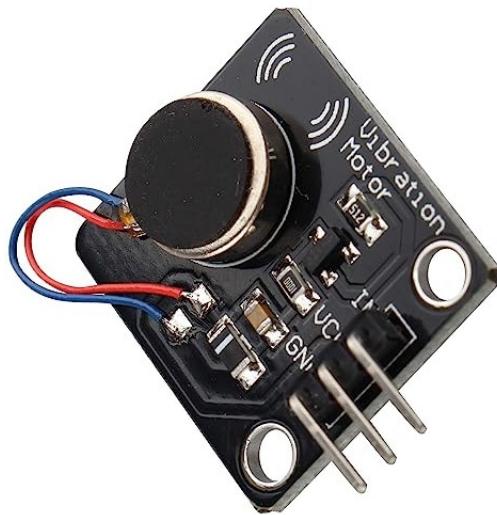


Figura 3.8: Motor de vibración.[36]

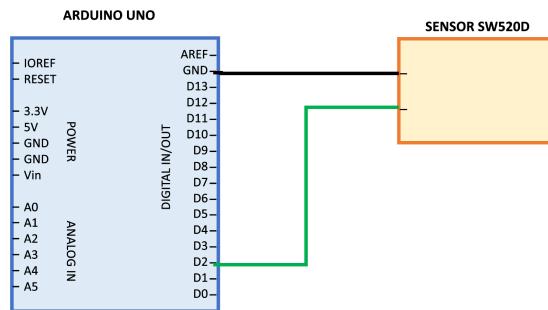


Figura 3.9: Zumbador pasivo.

Posibles sensores.

- **Módulo SCA60C[37]:** módulo que consta de un sensor de ángulo SCA60C y un acelerómetro N100060. Gracias a este sensor se pueden medir ángulos de 0 a 180°, con resolución de un grado, con un voltaje de entrada de 5 voltios y una tensión de salida en función del ángulo de 0,45 - 4,5 voltios. La corriente que necesita módulo ronda los 2 mA. Este módulo admite distintos rangos de medición y se utiliza para multitud de aplicaciones en las que se necesite conocer constantemente el ángulo de giro.
- **Galgas extensiométricas y módulo HX711[39, 40]:** se trata de un conjunto cuyo objetivo es medir el peso, basado en un transductor de galgas

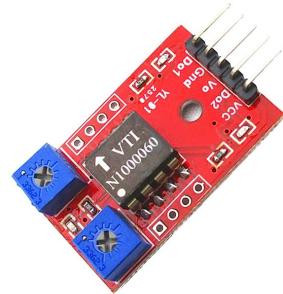


Figura 3.10: Módulo SCA60C[38].

extensiometrías y un módulo HX711 que actúa como amplificador de la señal y transfiere los datos al microcontrolador. La galga extensiometrítica o celda de carga es un transductor que convierte la tensión generada por los cambios en la longitud de un objeto a una señal eléctrica, en función del peso que se quiere medir existen distintas celdas de carga. Mientras que el módulo HX711 consta de un amplificador y un convertidor analógico-digital HX711, que permite la amplificación de la señal producida por la galga extensiometrítica. Este módulo utiliza un puente de Weahstone para convertir la fuerza aplicada en una señal analógica. Necesita una tensión de entrada de 5 voltios y el resultado se puede obtener en g, kg o Newtons. La utilización de este módulo requiere de la librería de Arduino hx711. El precio ronda los 10-15€.

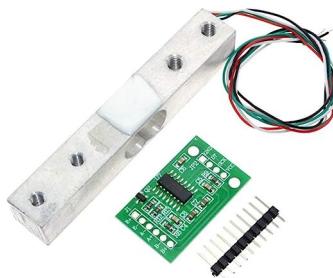


Figura 3.11: Galgas extensiométricas y módulo HX711[41].

- **Acelerómetro ADXL345**[42]: acelerómetro micromecanizado (MEMS) capacitivo de 3 grados de Libertad (3DOF²) acoplado a un bloque de memoria FIFO que almacena hasta 32 conjuntos de coordenadas. Además, es compatible con un procesador como Arduino mediante conexión por bus SPI o

²DOF: Degrees of Freedom, los grados de libertad, hace referencia a la cantidad de ejes en los que un sensor puede realizar su medición

bus I2C. Este dispositivo permite conocer la orientación del sensor por la acción de la fuerza de gravedad basándose en la detección de la aceleración en los ejes X, Y y Z. Se trata de un dispositivo de ultra bajo consumo, únicamente consume en funcionamiento unos $45 \mu\text{A}$ de corriente mientras que en Stand-By solamente consume unos $0,1 \mu\text{A}$. Este acelerómetro necesita una tensión de alimentación de unos 2 a 3,6 voltios. El rango de medición del dispositivo es ajustable, con resolución de hasta 13 bits y sensibilidad de 40 mg/LBS.

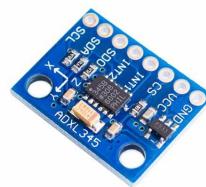


Figura 3.12: Acelerómetro ADXL345[43].

- **Módulo SW520D[44]:** Sensor de inclinación formado por sensores Tilt de doble esfera. Este sensor funciona como un interruptor y tiene una salida digital, al inclinar el sensor las 2 esferas actúan de puente y cierran el circuito. El código de programación de este dispositivo es similar al de un interruptor. Se trata de un sensor muy sensible a movimientos bruscos y vibraciones. Sin embargo, es un sensor muy barato.

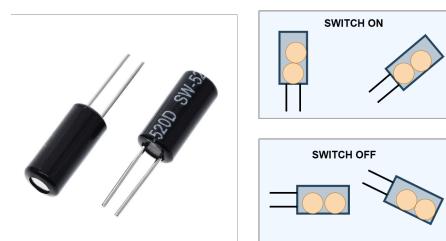


Figura 3.13: Sensor SW520D[45] y diagrama de su funcionamiento.

- **IMU MPU-6050[46, 47]:** es un módulo de unidad de medición inercial de 6 grados de libertad (6 DOF) fabricado por Invensense [referencia de la empresa](#), que permite conocer la posición del sensor en todo momento. Este módulo consta de un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes, conversores analógico a digital (ADC) de 16 bits, un sensor de temperatura, un reloj

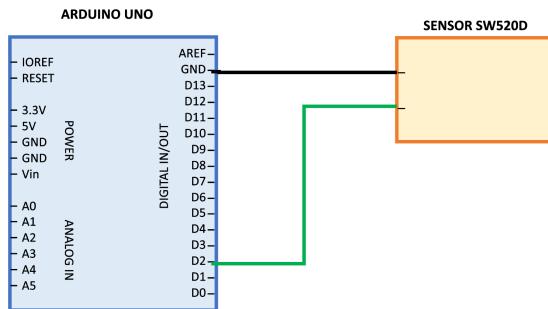


Figura 3.14: Diagrama de las conexiones del sensor SW520D.

de alta precisión e interrupciones programables y un procesador interno (DMP Digital Motion Processor). Tanto el rango del acelerómetro como del giroscopio son ajustables. Este módulo se acopla mediante un bus SPI o un bus I2C, necesita una tensión de alimentación de unos 2,4 - 3,6 voltios, aunque hay algunos módulos que tienen incluido un regulador de voltaje que permite su conexión a un voltaje de 5V, y consume unos 3,5 mA al tener todos sus componentes activados. Es uno de los sensores más empleados y tiene un coste de unos 6-15€.



Figura 3.15: Módulo MPU-6050[48].

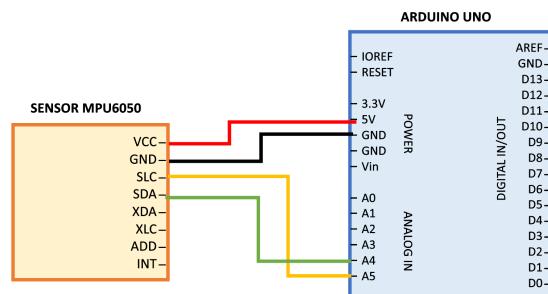


Figura 3.16: Diagrama de las conexiones del módulo MPU6050.

- **Módulo MPU-9250**[49, 50]: es un sensor de 9 grados de libertad (9DOF) que permite medir la inclinación y la aceleración en los 3 ejes. Este módulo incluye un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro. Al incluir el magnetómetro se elimina la deriva que puede darse tras horas de uso en dispositivos que no tengan este componente. Además, este módulo se acopla mediante bus SPI o por bus I2C. Este sensor necesita una alimentación de entrada de unos 2.4 a 3.6 V, aunque hay algunos módulos que tienen incluido un regulador de voltaje que permite su conexión a un voltaje de 5V. Para programar este módulo es necesaria la librería de Arduino MPU9250[51].

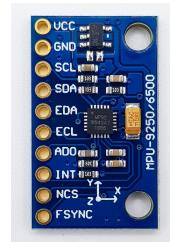


Figura 3.17: Módulo MPU-9250[52].

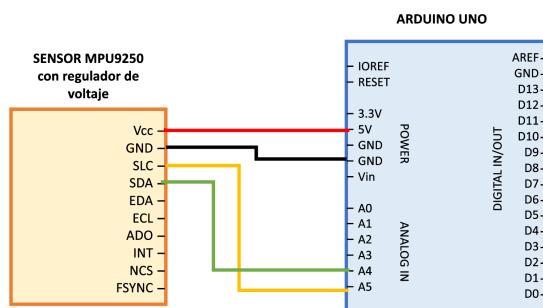


Figura 3.18: Diagrama del módulo MPU9250 con regulador de voltaje.

Para la realización del prototipo realizado en este proyecto se han seleccionados los módulos SW520D y MPU6050, por sus características, sencillez de uso, precio y disponibilidad.

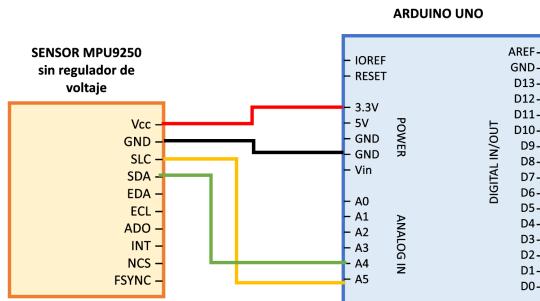


Figura 3.19: Diagrama del módulo MPU9250 sin regulador de voltaje.

Módulos	Características	Precio
SCA60C	Mide ángulos de 0-180º y necesita una tensión de entrada de 5V	15-25€
Galgas extensiometrías y módulos HX711	Mide el peso que se ejerce sobre la galga, existen distintas galgas en función del peso a medir y necesita una tensión de entrada de 5V	6-15€
ADXL345	Tiene 3 DOF, mide las aceleraciones en los 3 ejes y necesita una tensión de entrada de 2-3.6V	3-10€
MPU6050	Tiene 6 DOF, mide aceleraciones y ángulo de rotación en los 3 ejes y necesita una tensión de entrada de 2.4-3.6V	5-15€
SW520D	Detecta inclinaciones, es un sensor muy sencillo y actúa como un interruptor. Necesita una tensión de entrada de 5V.	0.3-5€
MPU9250	Tiene 9 DOF, mide aceleraciones, ángulos y campos magnéticos en los 3 ejes. Elimina la deriva y necesita una tensión de entrada de 2.4 a 3.6V	10-20€

Tabla 3.1: Resumen y comparación de posibles sensores o módulos que se pueden emplear en el proyecto

Conclusiones

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas.

Creo que en conclusiones tienes que indicar que al ser la primera vez que se realiza un TFG de estas características también sirve para ver las limitaciones, dificultades y carencias con las que un alumno puede enfrentarse al tratar de realizar este tipo de proyectos sin integrarse en un laboratorio en concreto.

Destacaría la importancia de que es el punto de partida para conseguir colaborar con asociaciones como Parkinson a partir de necesidades reales y concretas mostradas por sus usuarios.

4.1. Resumen de resultados.

Breve resumen de los resultados. En caso de ser un trabajo muy experimental, los resultados completos pueden aparecer en su anexo correspondiente.

4.2. Discusión.

Discusión y análisis de los resultados obtenidos.

4.3. Aspectos relevantes.

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del **desarrollo del proyecto**, comentados por los autores del mismo.

Debe incluir los detalles más relevantes en cada fase del desarrollo, justificando los caminos tomados, especialmente aquellos que no sean triviales.

Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del proyecto y también los resultados negativos obtenidos por soluciones previas a la solución entregada.

Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.

En este punto se podrían incluir los problemas que han surgido durante el desarrollo del proyecto.

Se han realizado diferentes versiones del prototipo a modo de kit, una primera versión con un sensor tilt (el sensor SW520D). La segunda versión del prototipo se ha realizado con el módulo MPU6050.

Lineas de trabajo futuras

Este capítulo debería ser informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado. En este trabajo únicamente se ha realizado un prototipo y será necesario en el futuro, crear la aplicación, el dispositivo de forma más robusta, corregir errores que han surgido, crear juegos o ejercicios que se podrán realizar con el dispositivo para así mejorar la musculatura y la postura de los usuarios que utilicen el dispositivo.

Se puede mejorar el proyecto profundizando más en las posibilidades de los sensores de presión y otros de los dispositivos incluidos en el estado del arte y los posibles usos que se pueden realizar con otros productos como mallas o calcetines inteligentes.

Bibliografía

- [1] Roberto Cano de la Cuerda y Susana Collado Vázquez. *Neurorrehabilitación: métodos específicos de valoración y tratamiento*. Editorial Médica Panamericana, 2012.
- [2] Francisco Kovacs, Mario Gestoso García y Nicole Dirat Vecchierini. *Cómo cuidar su espalda*. Paidotribo, 2012.
- [3] Khan Academy. *¿Qué es el centro de masa?* URL: <https://es.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/center-of-mass/a/what-is-center-of-mass>.
- [4] Jose Correa, Juan Gómez y Ricardo Posada. *Fundamentos de pediatría Tomo V: Urgencias, neurología, oftalmología, otorrinolaringología, ortopedia*. Corporación para investigaciones Biológicas CIB, 2015.
- [5] Aída Cristina Ejarque. *Artrosis & artritis: Prevención, postura, reeducación y ejercicios (Bicolor)*. Paidotribo, 2011.
- [6] Nicole Kah Mun Yoong, Jordan Perring y Ralph Jasper Mobbs. “Commercial postural devices: A review”. En: *Sensors* 19.23 (2019), pág. 5128.
- [7] Zengyu Ma y Qi Hao. “Posture monitoring of basketball training based on intelligent wearable device”. En: *Journal of Healthcare Engineering* 2022 (2022).
- [8] Anna Zwierzchowska et al. “The importance of extrinsic and intrinsic compensatory mechanisms to body posture of competitive athletes a systematic review and meta-analysis”. En: *Scientific Reports* 12.1 (2022), pág. 8808.
- [9] Juan R Rabuñal et al. “Dispositivo Inteligente para el Aprendizaje de la Corrección Postural mediante Estimulación Vibratoria”. En: *Especial Innovación* (2015), pág. 6.

- [10] M. Serpelloni E. Sardini y V. Pasqui. "Wireless Wearable T-Shirt for Posture Monitoring During Rehabilitation Exercises". En: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 64.2 (2015), págs. 439-448. DOI: 0.1109/TIM.2014.2343411. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6879298>.
- [11] UPRIGHT. *Upright Go 2*. URL: <https://store.uprightpose.com/products/upright-go2>.
- [12] UPRIGHT. *Upright Dispositivo corrector de postura corporal, para la espalda, -[Versión inglés]*. URL: <https://www.amazon.es/UpRight-Dispositivo-corrector-postura-corporal/dp/B0747YHZF?th=1>.
- [13] Rafael Victorino Muñoz. *UpRight: dispositivo para mejorar la postura*. URL: <https://mejorconsalud.as.com/upright-dispositivo-mejorar-postura/>.
- [14] UPRIGHT. *The science*. URL: <https://www.uprightpose.com/en-de/science/>.
- [15] UPRIGHT. *UPRIGHT GO 2 Posture Trainer User Manual*. URL: <https://manuals.plus/upright/go-2-posture-trainer-manual.pdf>. (accessed: 01.02.2023).
- [16] Manualslib. *UPRIGHT GO*. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1312878/Upright-Go.html?page=21#manual>. (accessed: 01.02.2023).
- [17] Xiaomipedia. *Hipee Posture Correction Device*. URL: <https://xiaomipedia.com/p/hipee-posture-correction-device/>. (accessed: 01.02.2023).
- [18] Jorge Sanz Fernández. *Este collar inteligente que vende Xiaomi evita las malas posturas de tu espalda. Un dispositivo barato, muy útil y con un diseño desenfadado para adultos y niños*. URL: https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoxplora/gadgets/este-collar-inteligente-que-vende-xiaomi-evita-malas-posturas-espalda_202010225f91862051dc2300012741ef.html. (accessed: 01.02.2023).
- [19] Sensor Medica. *SPINE 3D*. URL: <https://www.sensormedica.com/es/spine3d/>. (accessed: 01.03.2023).
- [20] alFOOTs. *Equipos de diagnóstico. Sistema dinámico de medición de la presión del pie*. URL: https://alfoots.com:5000/sub/02_sub/02_sub02.php. (accessed: 01.03.2023).
- [21] Health Technologies Diasu. *Sistemas biométricos, 3D BAK*. URL: <http://diasu.com/sistemi-biometrici/>. (accessed: 01.02.2023).

- [22] alFOOTs. *Equipos de diagnóstico. Sistema de medición de la marcha.* URL: https://alfoots.com:5000/sub/02_sub/02_sub02.php. (accessed: 01.03.2023).
- [23] alFOOTs. *Equipos de diagnóstico. Sistema GPA.* URL: https://alfoots.com:5000/sub/02_sub/02_sub02.php. (accessed: 01.03.2023).
- [24] novel USA. *novel Products, the correct system for your application.* URL: <https://www.novelusa.com/products>. (accessed: 15.02.2023).
- [25] novel USA. *Pliance, the trusted source for pressure distribution measurement between soft and curved surfaces.* URL: <https://www.novelusa.com/pliance>. (accessed: 15.02.2023).
- [26] Siren. *Preventative Foot Care For Patients.* URL: <https://www.siren.care/for-patients>. (accessed: 15.05.2023).
- [27] Alexander M Reyzelman et al. “Continuous temperature-monitoring socks for home use in patients with diabetes: observational study”. En: *Journal of medical Internet research* 20.12 (2018), e12460.
- [28] Chhaihuoy Long, Eunhye Jo y Yunyoung Nam. “Development of a yoga posture coaching system using an interactive display based on transfer learning”. En: *The Journal of Supercomputing* (2022), págs. 1-16.
- [29] Wearable X. *Wearable X / Fashion technology company building future of clothing.* URL: <https://www.wearablex.com/>. (accessed: 17.05.2023).
- [30] Online LaTeX Editor Overleaf. *Learn LaTeX in 30 minutes.* URL: https://www.overleaf.com/learn/latex/Learn_LaTeX_in_30_minutes#What_is_LaTeX. (accessed: 17.05.2023).
- [31] Draw.io. *Use the draw.io editor.* URL: <https://www.diagrams.net/doc/getting-started-editor>. (accessed: 17.03.2023).
- [32] Tinkercad. *Circuits on Tinkercad.* URL: <https://www.tinkercad.com/circuits>. (accessed: 17.03.2023).
- [33] Arduino. *What is Arduino?* URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. (accessed: 17.03.2023).
- [34] Arduino. *UNO R3, Arduino documentation.* URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>. (accessed: 17.03.2023).
- [35] GitHub. *GitHub.* URL: <https://github.com/github>. (accessed: 17.05.2023).

- [36] Amazon. *HALJIA 1027 3.0-5.3V / 60mA DC teléfono móvil Mini plano vibrador motor amortiguador módulo de motor móvil módulo de vibración DIY compatible con Arduino*. URL: https://www.amazon.es/HALJIA-3-0-5-3V-amortiguador-vibraci%5C%C3%5C%B3n-compatible/dp/B07QL8CMH7/ref=sr_1_5?adgrpid=1306220248585786&hvadid=81638854201696&hvbmtn=be&hvdev=c&hvlocphy=164442&hvnetw=o&hvqmt=e&hvtargid=kwd-81639001143095%5C%3Aloc-170&hydadcr=13810_1913999&keywords=vibration+motor+arduino&qid=1687121764&sr=8-5.
- [37] E.Fahad. *SCA60C Angle Sensor with Arduino Interfacing and Programming*. 2021. URL: <https://www.electronicclinic.com/sca60c-angle-sensor-with-arduino-interfacing-and-programming/>.
- [38] Amazon. *Phenovo Single-axis Tilt Sensor Module SCA60C Angle Tilt Detection Level Detector*. URL: <https://www.amazon.in/Phenovo-Single-axis-Sensor-Detection-Detector/dp/B07L3TPPM3>.
- [39] Xukyo. *Medición de la fuerza con Arduino y el módulo HX711*. 2021. URL: <https://www.aranacorp.com/es/medicion-de-la-fuerza-con-arduino-y-el-modulo-hx711/>.
- [40] Arduino Spain. *[GUÍA] Arduino HX711 módulo sensor de peso + código, conexión*. 2022. URL: <https://www.electronicclinic.com/sca60c-angle-sensor-with-arduino-interfacing-and-programming/>.
- [41] Amazon. *ARCELI HX711 ADC Convertidor Módulo Breakout Digital Sensor de Peso de la célula de Carga 1 KG Balanza de Cocina electrónica portátil, DIYmall para pesaje de Peso de célula de Carga*. URL: <https://www.amazon.es/ARCELI-Convertidor-Breakout-electr%5C%C3%5C%B3nica-port%5C%C3%5C%A1til/dp/B07MY35F92>.
- [42] Luis Llamas. *Usar un acelerómetro ADXL345 con Arduino*. 2016. URL: <https://www.luisllamas.es/arduino-acelerometro-adxl345/>.
- [43] Electronilab. *ADXL345 – Acelerómetro Digital de Tres Ejes*. URL: <https://electronilab.co/tienda/adxl345-acelerometro-digital-de-tres-ejes/>.
- [44] Luis Llamas. *Medir inclinación con Arduino y sensor tilt SW-520d*. 2015. URL: <https://www.luisllamas.es/medir-inclinacion-con-arduino-y-sensor-tilt-sw-520d>. (accessed: 17.05.2023).
- [45] Saisac Mecatrónica. *SW-520D TILT SWITCH (10pcs/Lot)*. URL: <https://saisac.pe/producto/sw-520d-tilt-switch-10pcs-lot/>.
- [46] Naylamp Mechatronics. *Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio*. URL: https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html.

- [47] Luis Llamas. *Determinar la orientación con Arduino y el IMU MPU-6050.* URL: <https://www.luisllamas.es/arduino-orientacion-imu-mpu-6050/>.
- [48] Robot Electronica. *Modulo 6y-521 Mpu6050 Giroscopio + Acelerometro Arduino.* URL: <https://robot.com.ve/product/modulo-6y-521-mpu6050-giroscopio-acelerometro-arduino/>.
- [49] Luis Llamas. *Usar Arduino con los IMU de 9DOF MPU-9150 y MPU-9250.* URL: <https://www.luisllamas.es/usar-arduino-con-los-imu-de-9dof-mpu-9150-y-mpu-9250/>.
- [50] Microcontrollers Lab. *MPU9250 9-DOF Gyro Accelerator Magnetometer Module with Arduino.* 2022. URL: <https://microcontrollerlab.com/mpu9250-9-dof-module-pinout-interfacing-with-arduino-features-specifications/>.
- [51] Arduino. *MPU9250 - Arduino Reference.* URL: <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/mpu9250/>.
- [52] WOLFGANG EWALD. *MPU9250 – 9-Axis Sensor Module – Part 2.* 2021. URL: <https://wolles-elektronikkiste.de/en/mpu9250-9-axis-sensor-module-part-2>.