

Revisión de la tecnología wearable y su aplicación en guantes inteligentes

A review of wearable technology for smart gloves



Leire Francés, Paz Morer, María-Isabel Rodríguez y Aitor Cazón

Tecnun. Universidad de Navarra. Dpto. Mecánico. Paseo Manuel de Lardizábal, 13 - 20018 San Sebastián (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8623> | Recibido: 21/10/2017 • Evaluando: 25/10/2017 • Aceptado: 21/12/2017

ABSTRACT

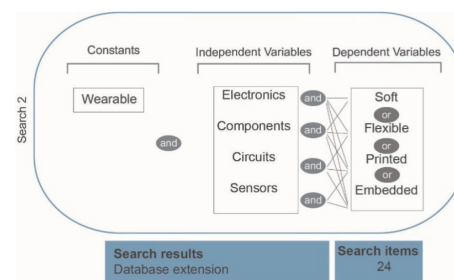
- Many industrial companies are now getting on board the new industrial revolution dominated by data acquisition, digitalization and other new technologies. Wearable combine the features of some of the most popular technologies of this revolution: they can monitor specific body regions by tracking information anywhere and anytime. Wearable systems for hands represent a special field of interest since they are the main body region involved in industrial tasks. This paper surveys such wearable systems based on the data from the last years. It collects information about the most important components they incorporate and analyses their features considering that they are devices aimed to be worn on the body. Thus, this paper is addressed to researchers who want to understand what a wearable is and which the main components and characteristics should incorporate, and also, those who want to explore new trends in this research field.
- **Keywords:** wearable | components | technologies | interaction.

RESUMEN

La nueva era digital ha traído consigo el avance imparable de nuevas tecnologías que muchas de las empresas industriales están incorporando en sus procesos. En esta época de transformación, los dispositivos "wearable" están resultando ser un recurso para atacar a los desafíos de las empresas industriales ya que combinan algunas de las tendencias tecnológicas en auge tales como la monitorización de regiones específicas del cuerpo y su posterior análisis de datos. En el sector industrial, los sistemas "wearable" posicionados en las manos representan un campo de especial interés ya que son la principal región del cuerpo involucrada en tareas industriales. Este artículo examina estos sistemas "wearable" basados en los datos de los últimos años y recoge y analiza la información sobre los componentes más importantes que incorporan.

Así, este documento está dirigido a investigadores que quieran comprender qué es un wearable y qué componentes y tecnologías lo componen. Pretende, además, ser una retrospectiva para aquellos investigadores que deseen explorar nuevas tendencias en este campo de investigación.

Keywords: wearable | componentes | tecnologías | guantes inteligentes.



1. INTRODUCCIÓN

La tecnología digital está marcando una nueva revolución industrial. Muchas empresas se están incorporando a esta nueva era. Para ello, están optando por introducir nuevas tecnologías que mejoran la interconectividad y el análisis de datos lo cual permite una personalización masiva, la integración de la cadena de valor y una mayor eficiencia. Los *wearable* reúnen las características de algunas de las tecnologías más populares de esta nueva revolución industrial, y gracias a su adaptabilidad al cuerpo, pueden monitorizar datos útiles de una manera no invasiva para los usuarios.

Debido a que la mayoría de movimientos en las tareas industriales se realizan con las manos, este estudio se centra en los *wearable* para la mano y sus componentes principales. Se realiza una revisión del estado del arte de la literatura sobre aplicaciones industriales, y extendiéndose a otros campos como la salud, el deporte y el ocio.

Para empezar, se proporciona una definición de *wearable*. En la sección 2, se presenta la metodología de investigación de este estudio. La Sección 3 revisa una base de datos que contiene los componentes principales de los *wearable*. Finalmente, en la sección 4, se realiza una discusión de los componentes principales y su nivel de personalización y, por último, se representan las conclusiones.

1.1. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR WEARABLE?

El término *wearable* se ha definido en varias ocasiones y existen diferentes definiciones en base al enfoque del estudio que se coja como referencia. Algunos de estos estudios se centran en los factores humanos reuniendo para ello parámetros relacionados con el ser humano [1]. Otros, sin embargo, optan por un enfoque de biodiseño basado en la ingeniería [2].

Debido a que existen múltiples definiciones en base al enfoque específico del estudio, este documento se basa en la siguiente como modelo de referencia: "Un *wearable* es un ordenador autónomo y totalmente funcional, autoalimentada, ubicada sobre el cuerpo y que proporciona acceso e interacción con la información en cualquier lugar y en cualquier momento" [3]. Así, esta definición reúne las características generales en las que se basa el presente estudio.

1.1.1. Wearable con aplicación industrial

La información sobre los *wearable* con aplicación industrial se puede dividir en dos grupos diferentes. El primero recoge la información teórica como definiciones, métodos o principios de

diseño dentro del marco de la industria, y el segundo, se centra en los productos finales y empresas que ya han comenzado a comercializar nuevas soluciones.

Basándose en los principios de diseño aplicados a la industria, algunos artículos describen los aspectos generales de la nueva revolución, mientras otros se centran en proporcionar los principios de diseño y explicar su uso en un escenario industrial real [56]. Sólo unos pocos estudios analíticos representan un diseño de productos centrado en el ser humano [57].

Con respecto a los artículos académicos que describen los *wearables* y sus componentes, sólo se han encontrado algunos ejemplos [58–60]. Sin embargo, en referencia a compañías que comercializan *wearables*, se pueden encontrar más casos en los que ya han comenzado a aumentar su productividad al introducir *wearables* en la cadena de valor como puede ser ("ProGlove"), ("Vandrico"), ("AnthroTronix"), ("Zerintia"), ("Cyber Glove Systems"). La Tabla 1 resume la actividad principal y los objetivos de esas compañías

	Producto	Objetivo
ProGlove ("ProGlove," n.d.)	Smart Glove	↑ eficiencia ↑ productividad
Vandrico ("Vandrico," n.d.)	Wearable	↑ fiabilidad & seguridad de operaciones industriales
Anthrotronix ("AnthroTronix," n.d.)	Tecnología de interface	Entrenamiento trabajadores
Zerintia ("Zerintia," n.d.)	Wearables	Mejora proceso
CyberGlove ("Cyber Glove Systems," n.d.)	Wearable de captura de movimiento	↑ eficiencia
↑ = aumentar		

Tabla 1: Empresas dedicadas a la comercialización de wearable con aplicación industrial

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El objetivo de este estudio es realizar una revisión del estado del arte de los *wearables* para aplicaciones industriales. En primer lugar, se ha realizado una primera búsqueda con palabras clave como "*wearable*" y "*glove*" o "*Hand-wrist*", a los que se han añadido variables diferentes (ver Fig. 1) obteniendo como resultado una información general sobre los diferentes componentes. En esta búsqueda no se ha encontrado información relativa a la personalización de un wearable. Por lo que esta primera búsqueda se ha ampliado posteriormente incluyendo términos específicos referentes a los factores humanos y factores ergonómicos.

2.1. ANTECEDENTES DE LOS WEARABLES

Con respecto a la tecnología, la búsqueda se ha dividido en dos etapas diferentes: 1) creación de la base de datos y 2) extensión de la base de datos. En la primera etapa, a partir de la búsqueda general, se desea determinar la situación actual de los *wearables* del grupo mano-muñeca. Posteriormente, se ha creado una base de datos basada en los componentes principales de los *wearables*. En la segunda fase, se ha ampliado la base de datos para incluir algunas tecnologías alternativas.

1. Identificación de la tecnología wearable y creación de la base de datos

En esta fase, se plantean las siguientes preguntas: ¿Cuál es la situación actual de los *wearable* centrados en el muñeca y mano? ¿Cuáles son sus componentes principales?

En primer lugar, se han buscado los términos "sistemas *wearables*", "sistemas de guantes", "tecnología *wearable*", "componentes *wearables* para la muñeca" y "dispositivo portátil para la muñeca" en las bases de datos ISI Web of Knowledge e IEEE Xplore. Una búsqueda con aplicaciones muy diferentes y, por lo tanto,

apropiada para obtener una visión general de los *wearables*. El idioma seleccionado ha sido el inglés. Esta primera búsqueda ha dado como resultado un total de 443 artículos.

A continuación, se han filtrado las búsquedas en un marco de años concreto. La búsqueda se ha limitado a incluir solo artículos que hayan sido publicados en los últimos años 15 años, debido a que se trata de una tecnología emergente que está en continuo desarrollo. Por lo tanto, los artículos seleccionados han sido publicados entre los años 2002 y 2017. Tras aplicar este filtro, la lista inicial se ha reducido a 337 artículos.

Una vez excluidos artículos duplicados, la lista se ha reducido a 180 artículos. Tras esta reducción, se revisó el contenido de los estudios teniendo en cuenta los siguientes criterios: 1) situación actual de los sistemas portátiles y 2) principales dispositivos *wearables* para el grupo mano-muñeca con información detallada sobre los componentes. Los estudios excluidos son aquellos que se centran principalmente en el desarrollo de un componente concreto del *wearable*, o que no muestran la aplicación de los compo-

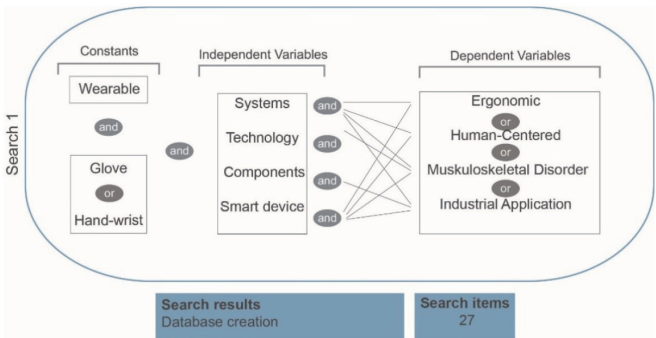


Fig. 1: Proceso de revisión de la tecnología wearable

nentes en los *wearables*, o aquellos relacionados exclusivamente con ortopedia, pero no con los *wearables*. Por lo que la lista final se ha visto reducida a 27 artículos. El proceso de revisión de tecnología se puede ver en la Fig. 1.

2. Extensión base de datos

A partir de la base de datos con los componentes obtenidos, se llevaron a cabo nuevas búsquedas con el objetivo de ampliar la información con otras tecnologías que no fueran específicas de dispositivos portátiles pero que pudieran ser útiles para los mismos. El objetivo de este paso final es detectar opciones tecnológicas más personalizadas. En esta fase, se ha buscado una combinación de los siguientes términos en las bases de datos ISI Web of Knowledge e IEEE Xplore: "electrónica", "sensores" y "circuitos" + "incrustados", "impresos", "flexibles" y "blandos". El resultado de esta búsqueda fue de 111 artículos. Posteriormente, se aplicó un filtro que delimita un rango de años de la publicación. Al igual que en la fase anterior, la búsqueda se ha limitado a incluir artículos

publicados en los últimos 15 años. Después de que se aplicara este filtro, la lista se ha reducido a 79. Se han eliminado los artículos duplicados y la lista se ha reducido a 50 elementos. Esta búsqueda se ha realizado teniendo en cuenta el cumplimiento de los siguientes requisitos: 1) inalámbrico 2) información a tiempo real, 3) bajo coste, 4) captura de movimiento de presión (sensores). La lista final tiene 24 elementos. El proceso de revisión se puede ver en la Fig. 2

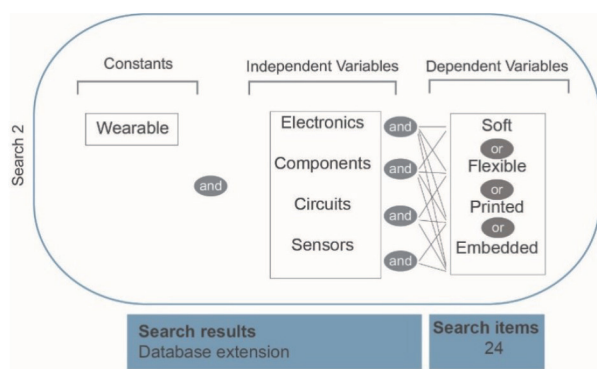


Fig. 2: Proceso de revisión de la tecnología wearable –extension

2.2. RESUMEN DE LA BÚSQUEDA

Los 27 artículos resultantes en la primera búsqueda han permitido la creación de una base de datos de componentes de los wearable. Por lo tanto, la base de datos está compuesta por diferentes trabajos encontrados en la literatura que incluyen información sobre los componentes principales.

La segunda búsqueda, consistente en 24 artículos, ha permitido ampliar la información de la primera búsqueda. Como hay algunos materiales y soluciones interesantes que no se han incluido en los estudios de la base de datos, se ha realizado una búsqueda con soluciones alternativas que se presentan en la siguiente sección. En la sección 3.2 recoge la tabla resumen de los componentes encontrados y los artículos.

3. ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGÍA WEARABLE

La búsqueda de la literatura siguiendo los criterios mencionados anteriormente ha dado como resultado: 1) una lista de artículos con información sobre los componentes principales de los wearable, y 2) algunas tecnologías alternativas adecuadas para los wearables.

3.1. COMPONENTES DE LOS WEARABLES

La Figura 3 muestra los diferentes componentes que se han buscado en la literatura. Estos componentes se han dividido en 6 secciones: 1) sensores, 2) control de datos, 3) alimentación, 4) conductores, 5) procesamiento de datos y 6) módulo de comunicación. En esta Figura se muestra el esquema general con las tipologías de los componentes principales.

Se puede observar como los sensores se han dividido en dos grandes grupos: un grupo principal de dispositivos biomecánicos y lo que se denomina "others". Este primer grupo no incluye los RFID ni ningún otro tipo de dispositivo visual, sino que se incluyen en el otro grupo. En segundo lugar, el grupo de control de datos se ha dividido en dos subgrupos principales según la tipología del dispositivo utilizado en cada artículo: un microcontrolador o un microprocesador. En lo que respecta a la fuente de alimentación, ésta se ha dividido en cuatro subgrupos según las principales tecnologías de carga: baterías estándar, carga inductiva, baterías

de litio y otros sistemas como baterías impresas. En cuanto a los conductores, éstos se han diferenciado por el material que lo componen: cables, textiles conductores u otros medios, como líquidos químicos conductores o soluciones impresas en 3D. Los sistemas de procesamiento de datos, se dividen en cuatro subgrupos diferentes de acuerdo con el software utilizado en cada caso: Matlab, C++, LabView u otro software gráfico. Finalmente, los módulos de comunicación se diferencian entre los cableados o inalámbricos.

Las siguientes secciones recogen la información obtenida de cada uno de los 6 grupos de componentes para terminar con un resumen completo de esta búsqueda.

3.1.1. Sensores

Los sensores que se han encontrado, se pueden clasificar como sensores de presión y fuerza, sensores de flexión, sensores de captura de movimiento y otros sensores, como RFID, los cuales no proporcionan resultados físicos o fisiológicos. En esta sección se presentan 1) los sensores recogidos en los artículos, resumidos en la tabla 3 y por otra parte 2) otros tipos de sensores adecuados para dispositivos portátiles.

Sensores ya usados en wearables

Los sensores de presión y fuerza son los sensores más utilizados. Los sensores FSR (sensor fuerza-resistivo) se usan para aplicaciones tales como la agricultura [4] o para evaluar factores potenciales de riesgo de lesión en la mano [5]. En el primer caso, se utilizan como alternativa a los sensores de flexión y, a pesar de ser menos precisos, los sensores FSR son más fáciles de trabajar. En el segundo caso, tanto el FSR como los sensores piezo-resistivos han sido fabricados internamente. Los resultados experimentales muestran que el sensor FSR está más distribuido que el sensor de respuesta galvánica de la piel (GSR), por lo que es más adecuado para tareas de corta duración.

Algunos estudios incluyen sensores comerciales de compañías especializadas en mapeo de presión. Dentro de estos ejemplos, se pueden encontrar sensores piezo-resistivos de Teksan [6], [7]. Esta compañía también ofrece a los clientes todo el software y hardware para la adquisición y visualización de datos.

Otros artículos se centran en la elección de materiales piezoeléctricos, que se colocan en la yema de los dedos para funcio-

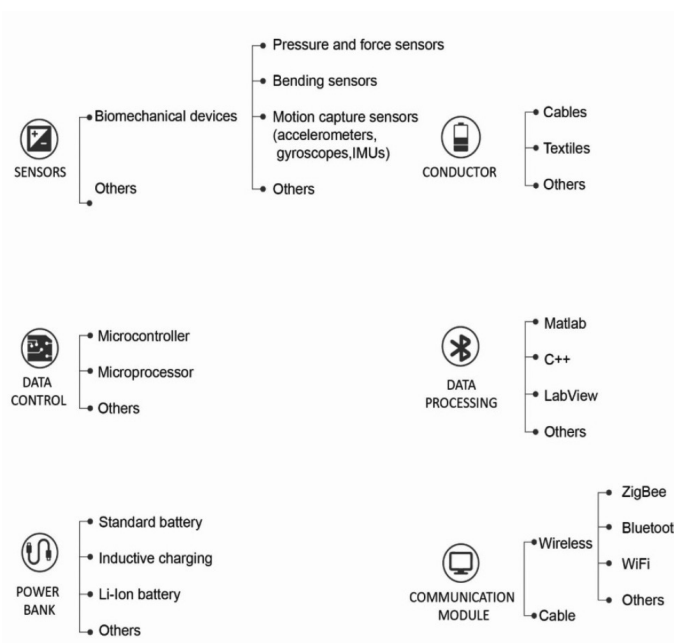


Fig. 3: Esquema de los principales componentes de un wearable

nar como sensores [8]. Estos sensores consisten en tinta conductora eléctrica y una capa de carbón en la hoja [9].

En algunos casos se utilizan sensores capacitivos [10] o medidores de tensión [5], aunque no son los dispositivos más adecuados para los *wearables* debido a la potencia adicional que necesitan para funcionar correctamente.

En cuanto a los sensores de flexión, se utilizan en varias aplicaciones, incluido el análisis de la marcha [11], debido a la facilidad con la que se pueden integrar en los zapatos instrumentados.

Algunos *wearables* para la mano, como el 5DT Data Glove, utilizan sensores flexibles de fibra óptica patentados. Un extremo de cada bucle de fibra está conectado a un LED, y la luz que regresa del otro extremo es detectada por un fototransistor [12].

Otros estudios han desarrollado su propio sensor que consiste en un microcanal de varias capas en una matriz de elastómero [13] o nuevos sensores de tensión capacitivos basados en nanotubos de carbono multifuncionales (CNT) que pueden detectar tensiones hasta 300% con excelente durabilidad incluso después de miles de ciclos [14]. En cuanto a la electrónica impresa, otros estudios han desarrollado su propio sensor utilizando una película delgada de polímero conductor (PEDOT: PSS) impresa en papel fotográfico brillante [15].

Dentro del grupo de sensores de captura de movimiento, los acelerómetros representan el segundo sensor más utilizado. Están configurados por un *wearable* que tiene el objetivo de medir cualquier tipo de movimiento. La mayoría de los dispositivos los han incorporado usando la configuración de eje simple/doble [16], [9], [17] o la configuración de 3 ejes [18], [19], [20]. Para obtener información sobre movimientos de rotación, los *wearable* también incorporan giroscopios. Por otra parte, y en menor medida que los casos mencionados anteriormente, también se han encontrado dispositivos de medición inercial [21], [22]. Se trata de dispositivos electrónicos compuestos por acelerómetros y giroscopios utilizados para determinar la aceleración [23].

Finalmente, existe un gran porcentaje de otros dispositivos que no pueden considerarse dispositivos biomecánicos ya que no proporcionan resultados físicos o fisiológicos como, por ejemplo, los LEDs visuales y lectores de RFID [4], [17].

Sensores adecuados para wearables

Hay estudios en los que los sensores se han utilizado para aplicaciones diferentes que nos corresponden a los *wearables* pero que pueden ser útiles para instalarlos en estos dispositivos. Esta sección recoge estos sensores que, gracias a su flexibilidad y adaptabilidad al cuerpo, cumplen con los requisitos para ser usados en un *wearable*. También se han añadido sensores fabricados mediante procesos apropiados para la tecnología *wearable* tales como la impresión 3D, procesos de fabricación biocompatible etc.

Algunos estudios proporcionan una lista de sensores y materiales que se han utilizado en diferentes proyectos y otros, sin embargo, muestran ejemplos llevados a cabo por empresas concretas [24]. Otros estudios se centran en los dispositivos de detección mecánica y eléctrica flexible y proporcionan una visión general de la tecnología útil para dispositivos *wearable* [25]. También hay algunos artículos que presentan una visión general de los sensores sobre ropa inteligente para otras aplicaciones, como salud, ocio o deportes [26].

Hay algunos trabajos interesantes para los *wearables* en los que se comparan diferentes tipos de sensores de fuerza flexibles y delgados [7]. Otros estudios, explican el conjunto de sensores táctiles capacitivos y flexible que han desarrollado y que se pueden utilizar para la detección táctil y en tiempo real [27].

En cuanto a otras posibles soluciones flexibles como los sensores basados en la textrónica, se encuentran algunos estudios que desarrollan sensores de numeración integrados en prendas para diversas aplicaciones deportivas [28], así como otras soluciones biosensoras, también basadas en textiles, permiten desarrollar sistemas de detección integrados en una base textil [29]. Otros sensores, representan una gama de técnicas de muestreo y métodos de detección química [30]. Finalmente se han encontrado ejemplos de sensores que analizan la integración de una fibra óptica en un tejido [31].

La flexibilidad también se puede lograr a partir de polímeros conductivos para la presión [32] y diferentes materiales piezoeléctricos sobre un sustrato flexible como la poliamida delgada [33]. La sensibilidad de respuesta, la linealidad y la estabilidad térmica de los sensores de película flexible son parámetros importantes de este tipo de estudios y deben investigarse más a fondo [34].

Además de la flexibilidad, la capacidad de estiramiento es otro parámetro a considerar al seleccionar las tecnologías adecuadas para los *wearable*. Algunos estudios incluyen una gama de electrodos flexible y elásticos fabricados en forma de serpentina, que se pueden unir a la piel a través de un proceso de transferencia de impresión [35].

Las técnicas de prototipado rápido no solo son adecuadas para la producción en masa de dispositivos de bajo costo, sino que también pueden facilitar la integración de productos electrónicos multifuncionales. Algunos de los artículos encontrados en la búsqueda bibliográfica, han desarrollado nuevas técnicas de impresión basadas en la impresión de pantalla y de inyección de tinta [36], mientras que otros presentan una revisión exhaustiva de diversas tecnologías de impresión, sustratos utilizados comúnmente y materiales electrónicos [37].

En cuanto a las soluciones económicamente competitivas, algunos artículos muestran una estrategia de fabricación de bajo costo para construir un sensor de presión altamente sensible y flexible intercalando papel de seda impregnado con nanoalambres de oro ultrafino entre dos láminas delgadas de polidimetilsiloxano [38]. Otros explican un método de fabricación de bajo costo y el consumo de energía que los hace más económicos [39].

3.1.2. Sistemas de control

El sistema de control de datos sólo se ha definido en unos pocos estudios. Tanto los microcontroladores comerciales como los personalizados se usan en dispositivos *wearable* [13] [9] [40]. Los microprocesadores sólo se han usado en dos de los trabajos revisados [9] y [41]. En la mayoría de los casos, no hay información disponible sobre el sistema de procesamiento utilizado.

En cuanto a las soluciones de control de datos incorporadas, solo hay un artículo que usa electrónica impresa [40]. El resto de los artículos informa sobre el uso de placas comerciales para hacer prototipos y sólo un artículo explica el diseño de una solución ergonómica del microcontrolador [13].

3.1.3. Conductores

Los conductores constituyen un elemento de interés a analizar ya que pueden cambiar por completo la configuración del hardware.

	Rango de frecuencia operativa	Rango
WiFi	2.4-5 GHz	50-100 m
Bluetooth	2.4 GHz	10 -100 m
Zigbee	2.4 GHz	20-50 m
USB wireless	2.4 GHz	10 m

Table 2: Principales características de los módulos de comunicación sin cables

La principal dificultad de los materiales alternativos a los cables es tratar de mantener la baja resistividad que aportan. Sin embargo, se han encontrado algunos estudios que han analizado soluciones alternativas a los cables. Algunos de ellos, describen las característi-

cas deseables de los materiales piezoeléctricos para los textiles electrónicos *wearable* y los aplican a un prototipo inicial de un guante [8] o presentan un prototipo novedoso de un guante cibernético, que incluye un estudio sobre la integración electrónica en tejidos

PROYECTO	SENSOR	PLACA BASE	CONDUCTORES	BANCO DE ALIMENTACIÓN	COMUNICACIÓN	PROCESAMIENTO DE DATOS
Aroca et al. 2013	Sensores de distancia	Overo FireSTORM-P + AtMega 328 MC	CB estándar	Batería AAA standard	ZigBee + Bluetooth + Wifi	NS
	Sensor FSR					
	Sensores de flexión					
	Sensores ópticos					
	Lector RFID					
Chossat et al. 2015	Sensor de presión de líquido EGaln-liquid	Printed Circuit Board + HC12 MC	Soft wires	Computer	Cable	Matlab
Edmison et al.2002	Sensor piezoeléctrico	HC12 MC	Piezoeléctrico textil	NS	NS	C++
Axisa et al.2003		Teksan technology	Stainless-steel wires woven in fabric	NS	Wifi	Software Teksan
Muro de la Herran et al	Sensor de presión Flexiforce	MC	NS	Battery module+ inductive recharging	Bluetooth	NS
	Sensor inercial					
Harte et al. 2015	Sensor de presión	8051 CPU CORE	NS	Inductive charging circuit	Bluetooth	NS
	AC					
Hernandez et al. 2002	Sensor capacitivo	NS	CB	NS	NS	Software específico mano virtual
Dipietro et al. 2008 NuGlove	Giroscopio	NS	NS	NS	NS	NS
	Magnómetro					
Tarchanidis et al. 2003	AC de dos ejes	PIC 16C74A MC	CB	NS	MAX232 chip	NS
	Fibra óptica					
Dipietro et al. 2008 5DT Dta Glove	Sensores ópticos flexibles		CB		USB	Software de 5 Dta Glove
Niazmand et al.2011	Tinta de conducción eléctrica	NS	CB	NS	NanoLoc module	NS
	AC					
Fujimori et al. 2009	Sensor táctil	NS	CB	NS	CAN	NS
	Sensores basados en la difusión de la luz					
	GR					
Le Cai et al. 2013	Sensores CNT	NS	CB	NS	NS	NS
Reinvee et al.2014	Sensor Teksan	Tecnología Teksan	CB	NS	NS	Software de Teksan
Komi et al. 2007	Sensores de presión deTeksan and Peratech	Tecnología Teksan	CB	NS	NS	Software de Teksan
Shibuya et al. 2015	AC 3 ejes	MSP430 MC	CB	Batería de L-ion	Inalámbrico	NS
	GR 1 eje					
	GR 2 ejes					
Tongrod et al. 2010	Sensor PEDOT:PSS	NS	Películas conductoras PSS	NS	ZigBee	C++
Stiefmeier_2 et al. 2006	Sensor FSR	NS	NS	NS	Bluetooth	NS
Reid et al. 2015	Sensor FSR	NS	CB	NS	NS	NS
	Galga extensométrica					
	GSR piezoresistivo					
Reyes et al. 2013	Strain Gauges	Placa impresa	NS	Batería de litio	Bluetooth	Matlab
Schall Jr. et al. 2016	IMU	NS	NS	NS	NS	LabView
Valero et al. 2016	IMU	NS	NS	NS	NS	LabView
Sanchez et al. 2016	Lector RFID	MC	Fibra conductora	NS	RX and TX anthena	
	Leds visuales					
	AC					
Schmuntzsch et al.2014		Arduino MC	CB	NS	NS	NS
Conolly et al.2011	Sensores flexibles	ADBox24 MP	CB	NS	USB	3D Max
Hong et al.2008	AC 3 -ejes	Freescale MMA726Q MC	CB	NS	NS	NS
	Lector RFID					
Kenn et al.2004	SCIPIO platform	aTmega8L MC	NS	NS	Bluetooth	C
	3D AC					

Leyenda no especificado = NS ; Sensor fuerzaresistivo= FSR ; Giroscopio = GR ; Acelerómetro =AC ; Microcontrolador= MC ; Microprocesador= MP ; Cables = CB ; unidad inercial de medida =IMU

Tabla 3: Componentes de los sistemas wearable para el grupo mano-muñeca"

con el fin de aumentar el nivel de integración [17]. Estos estudios se consideran buenos ejemplos de tecnología integrada.

Con respecto a la electrónica impresa y las soluciones textiles alternativas, algunos estudios presentan sensores de presión y conductores basados en la tecnología electrónica impresa [15] o han desarrollado nuevos materiales y productos electrónicos inteligentes y textiles para el cuidado personal. En estos ejemplos, se propone una gran cantidad de conductores tales como fibras y telas conductoras y tintas conductoras [24].

Con respecto a las soluciones textiles, algunos estudios presentan los componentes necesarios para la realización de circuitos eléctricos en telas [42] [43], mientras que otros informan una metodología de tricotado para sensores textiles que monitorizan constantes fisiológicas [44]. Algunos estudios revisan materiales, dispositivos y métodos de ensamblaje, [45] y finalmente otros, presentan resultados en pruebas eléctricas y térmicas de conductores orgánicos basados en ácido poliestirensulfónico que puede usarse para circuitos de potencia [46].

3.1.4. Fuente de alimentación

Por lo general, en la búsqueda bibliográfica realizada, no se especifica la fuente de alimentación utilizada. Por eso, en este estudio se ha realizado una búsqueda complementaria para proponer algunas soluciones que podrían ser interesantes de incorporar en dispositivos *wearable*. La administración de energía y la capacidad de la batería son algunos de los parámetros clave de la ropa inteligente en general, y dos ejemplos de fuentes de energía son las soluciones Power Paper y Power Fiber [47]. De hecho, en uno de los estudios revisados se explica la realización de baterías con fibras que contienen el ánodo, el cátodo y el electrolito [48].

En algunos estudios se proponen soluciones alternativas a las baterías estándar, incluidas las de textiles como recolección de energía y sistema de suministro de energía portátil [24], [49], [50]. Otras soluciones podrán ser las arquitecturas de batería Li-Ion Micro impresas en 3D [51], o soluciones nano electrónicas [52]. Un ejemplo completo de diseño de sistemas autónomos *wearable* completo, es el que se menciona en un artículo en el que se explica cómo recolectar la energía del cuerpo humano y cómo transmitir la energía inalámbrica [53].

3.1.5. Módulo de comunicación

En la mayoría de los estudios encontrados se usan módulos de comunicación inalámbrica. Los sistemas inalámbricos más comunes son Bluetooth, WiFi y Zigbee, aunque hay algunos artículos en los que los investigadores han construido sus propios módulos mediante impresión de antenas [9]. Mientras la Wi-Fi está destinado a la comunicación de ordenador a ordenador como un sustituto de las redes cableadas, el Bluetooth y Zigbee están diseñados para habilitar los periféricos de corto alcance de los ordenadores. Además, ofrecen ventajas en términos de gasto energético y seguridad según se ha revisado en algunos estudios [54] [55]. Las principales características de los diferentes módulos de comunicación se pueden ver en la Tabla 2.

3.2. TABLA RESUMEN DE COMPONENTES

Tal y como se ha explicado en secciones anteriores, algunas de las soluciones de fuentes de alimentación o sensores ya tienen sistemas inalámbricos integrados. Estas soluciones alternativas pueden mejorar considerablemente la autonomía de un *wearable* ya que todo se representa en un mismo sistema. La Tabla 3 presenta una visión general de todos los datos recopilados de los artículos y describe la tecnología utilizada en detalle.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Cada vez que se aborda el tema del diseño de *wearables*, surgen numerosas dudas acerca de los requisitos que deben cumplir. Esto es debido a: 1) la existencia de múltiples definiciones diferentes del término *wearable* y 2) a la consideración de aspectos técnicos sin tomar en cuenta los aspectos humanos. El hecho de no considerar los aspectos humanos puede disminuir no sólo la aceptación por parte de los usuarios sino también a su compromiso con ellos [1]. Como consecuencia de la variedad de definiciones del término *wearable*, hay también a una gran variedad de requisitos que no están bien definidos. Esta falta de uniformidad es muy generalizada y dificulta la comparación de dichos requisitos.

En cuanto a los ejemplos de los componentes de los *wearables* recogidos en la Tabla 3, se puede concluir que es difícil obtener información sobre todos los componentes. Tan solo 3 de los 27 estudios proporcionan información detallada sobre los seis componentes esenciales definidos para un guante inteligente. En cuanto a los componentes físicos de los wearables, (sensores, placas, conductores y fuentes de alimentación) sólo el 25% de ellos representan tecnologías totalmente integradas (circuitos impresos y conductores, sensores flexibles y soluciones basadas en textiles). Estos porcentajes se pueden ver en la Figura 4.

En referencia a los aspectos humanos, sólo unos pocos estudios tienen en cuenta los factores humanos en la definición de sus requisitos. Para poder evaluar su influencia en el diseño de *wearables*, este estudio ha definido el término de "personificación" ya que se considera un buen parámetro de comparación. Así, consideramos las tecnologías blandas tales como las impresas, flexibles o integradas como ejemplos que responden correctamente al nivel de "personalización" requerido para el diseño de *wearables*.

En cuanto al nivel de personalización del sensor, se puede concluir que es mayor en el caso de los sensores de presión que en otros, ya que hay muchos más artículos que se han centrado en desarrollar sus propios componentes electrónicos. Dado que los sensores personalizados representan tan solo el 18% de toda la tecnología en uso, se considera oportuno el estudio de vías alternativas para tratar de personalizar estas soluciones.

Esas conclusiones nos llevan a pensar que la tecnología no se ha centrado en el cuerpo ni en los aspectos humanos, lo cual afecta directamente a la usabilidad y el uso a largo plazo de los *wearable*. Por lo tanto, existe una falta de integración de la tecnología flexible en dicha metodología.

Así, los requisitos de diseño deberían definirse teniendo en cuenta tanto los componentes técnicos como los aspectos humanos. La primera fase consistiría en crear un *wearable* haciendo uso de las ventajas que representan para esta aplicación los materiales flexibles y ergonómicos. Para cumplir con estos requisitos, se pueden considerar algunos trabajos revisados [8], [15], [17], así como algunos materiales alternativos que figuran en la sección sobre Sensores adecuados para dispositivos portátiles en 3.1.1.

Por otra parte, para un proceso de diseño de *wearable*, es esencial involucrar a los usuarios finales y mantenerlos presentes en el proceso de diseño. Por lo tanto, el objetivo de un investigador en diseño es crear un diálogo entre los usuarios finales de un sistema y el equipo de desarrollador del sistema para poder así abordar

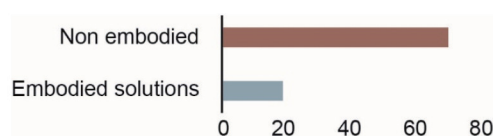


Fig. 4. "Nivel de personificación de los componentes wearable"

con éxito el reto de diseño. Por lo tanto, tanto la usabilidad de la tecnología como los aspectos humanos de la tecnología *wearable* no deben abordarse de manera independiente.

Esta revisión bibliográfica muestra que hay mucha más información disponible sobre la tecnología que los factores ergonómicos / humanos que se deben considerar en el propio proceso y que son estos factores los que repercutirán en el rendimiento del *wearable* diseñado. Además, el análisis de la tecnología *wearable* desde a de un punto de vista centrado en el usuario, muestra que su nivel de personalización es todavía bajo, que no se cumplen los requisitos ergonómicos y que, por lo tanto, no se puede garantizar la aceptación del usuario final.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Motti, Vivian Genaro, and Kelly Caine. "Human factors considerations in the design of wearable devices." In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 58, no. 1, pp. 1820-1824. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2014.
- [2] Canina, Marita, and Venere Ferraro. "Biodesign and Human Body: a New Approach in Wearable Devices." *BiodesignLab, INDACO Dipartimento, Politecnico di Milano* (2008).
- [3] Edwards, Jeanette, Penelope Harvey, and Peter Wade, eds. *Technologized images, technologized bodies*. Berghahn books, 2010. pp. 163.
- [4] Aroca, Rafael V., Rafael B. Gomes, Rummennique R. Dantas, Adonai G. Calbo, and Luiz MG Gonçalves. "A wearable mobile sensor platform to assist fruit grading." *Sensors* 13, no. 5 (2013): 6109-6140.
- [5] Reid, Christopher R., and Shane M. McFarland. "Feasibility Assessment of an Extravehicular Activity Glove Sensing Platform to Evaluate Potential Hand Injury Risk Factors." 45th International Conference on Environmental Systems, 2015.
- [6] Reinvee, M., and K. Jansen. "Utilisation of tactile sensors in ergonomic assessment of hand-handle interface: a review." *Agronomy Research* 12, no. 3 (2014): 907-914.
- [7] Komi, Erin R., Jonathan R. Roberts, and S. J. Rothberg. "Evaluation of thin, flexible sensors for time-resolved grip force measurement." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 221, no. 12 (2007): 1687-1699.
- [8] Edmonson, Joshua, Mark Jones, Zahi Nakad, and Thomas Martin. "Using piezoelectric materials for wearable electronic textiles." In *Wearable Computers, 2002 (ISWC 2002)*. *Proceedings. Sixth International Symposium on*, pp. 41-48. IEEE, 2002.
- [9] Niazmand, Khalil, Karin Tonn, Anastasios Kalaras, Urban M. Fietzek, Jan-Hinnerk Mehrkens, and Tim C. Lueth. "Quantitative evaluation of Parkinson's disease using sensor based smart glove." In *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2011 24th International Symposium on*, pp. 1-8. IEEE, 2011.
- [10] Hernandez-Rebollar, Jose L., Nicholas Kyriakopoulos, and Robert W. Lindeman. "The AceGlove: a whole-hand input device for virtual reality." In *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*, pp. 259-259. ACM, 2002.
- [11] Muro-De-La-Herran, Alvaro, Begonya Garcia-Zapirain, and Amaia Mendez-Zorrilla. "Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications." *Sensors* 14, no. 2 (2014): 3362-3394.
- [12] Di Pietro, Laura, Angelo M. Sabatini, and Paolo Dario. "A survey of glove-based systems and their applications." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 38, no. 4 (2008): 461-482.
- [13] Chossat, Jean-Baptiste, Yiwei Tao, Vincent Duchaine, and Yong-Lae Park. "Wearable soft artificial skin for hand motion detection with embedded microfluidic strain sensing." In *Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on*, pp. 2568-2573. IEEE, 2015.
- [14] Cai, Le, Li Song, Pingshan Luan, Qiang Zhang, Nan Zhang, Qingqing Gao, Duan Zhao et al. "Super-stretchable, transparent carbon nanotube-based capacitive strain sensors for human motion detection." *Scientific reports* 3 (2013): 3048.
- [15] Tongrod, Nattapong, Teerakiat Kercharoen, Natthapol Watthanawisuth, and Adisorn Tuantranont. "A low-cost data-glove for human computer interaction based on ink-jet printed sensors and ZigBee networks." In *Wearable Computers (ISWC), 2010 International Symposium on*, pp. 1-2. IEEE, 2010.
- [16] Harte, Richard, Leo R. Quinlan, Liam Glynn, Alejandro Rodriguez-Moliner, Thomas Scharf, Carlos Carenas, Elisenda Reixach, Joan Garcia, Jordi Carrabina, and Gearóid Ólaighin. "A multi-stage human factors and comfort assessment of instrumented insoles designed for use in a connected health infrastructure." *Journal of personalized medicine* 5, no. 4 (2015): 487-508.
- [17] Sánchez, Borja Bordel, Diego Sánchez de Rivera, and Alvaro Sánchez-Picot. "Building unobtrusive wearable devices: an ergonomic cybernetic glove." *J. Internet Serv. Inf. Secur.* 6, no. 2 (2016): 37-52.
- [18] Shibuya, Naohiro, Bhargava Teja Nukala, A. I. Rodriguez, Jerry Tsay, Tam Q. Nguyen, Steven Zupancic, and Donald YC Lie. "A real-time fall detection system using a wearable gait analysis sensor and a support vector machine (svm) classifier." In *Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2015 Eighth International Conference on*, pp. 66-67. IEEE, 2015.
- [19] Hong, Yu-Jin, Ig-Jae Kim, Sang Chul Ahn, and Hyoung-Gon Kim. "Activity recognition using wearable sensors for elder care." In *Future Generation Communication and Networking, 2008. FGCN'08. Second International Conference on*, vol. 2, pp. 302-305. IEEE, 2008.
- [20] Kenn, Holger, Friedrich Van Meegen, and Robert Sugar. "A glove-based gesture interface for wearable computing applications." In *Applied Wearable Computing (IAWC), 2007 4th International Forum on*, pp. 1-10. VDE, 2007.
- [21] Schall, Mark C., Nathan B. Fethke, and Howard Chen. "Evaluation of four sensor locations for physical activity assessment." *Applied ergonomics* 53 (2016): 103-109.
- [22] Valero, Enrique, Aparajithan Sivanathan, Frédéric Bosché, and Mohamed Abdel-Wahab. "Musculoskeletal disorders in construction: a review and a novel system for activity tracking with body area network." *Applied ergonomics* 54 (2016): 120-130.
- [23] Pollard, Jonisha, Dempsey, Patrick, "Assessment of Physical Job Demands," in *Evaluation of Human Work*, 2015, pp. 474-479.
- [24] Stoppa, Matteo, and Alessandro Chiolerio. "Wearable electronics and smart textiles: a critical review." *Sensors* 14, no. 7 (2014): 11957-11992.
- [25] Pang, Changhyun, Chanseok Lee, and Kahp-Yang Suh. "Recent advances in flexible sensors for wearable and implantable devices." *Journal of Applied Polymer Science* 130, no. 3 (2013): 1429-1441.
- [26] Traill, A., A. Georgiadis, A. Collado, Y. Kawahara, H. Aubert, and M. M. Tentzeris. "Inkjet-printed "Zero-Power" wireless sensor and power management nodes for IoT and "Smart Skin" applications." In *General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), 2014 XXXIth URSI*, pp. 1-4. IEEE, 2014.
- [27] Wang, Yancheng, Kailun Xi, Guanghao Liang, Meiqing Mei, and Zichen Chen. "A flexible capacitive tactile sensor array for prosthetic hand real-time contact force measurement." In *Information and Automation (ICIA), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 937-942. IEEE, 2014.
- [28] Coyle, Shirley, Deirdre Morris, King-Tong Lau, Dermot Diamond, and Niall Moyna. "Textile-based wearable sensors for assisting sports performance." In *Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2009. BSN 2009. Sixth International Workshop on*, pp. 307-311. IEEE, 2009.
- [29] Coyle, Shirley, King-Tong Lau, Niall Moyna, Donal O'Gorman, Dermot Diamond, Fabio Di Francesco, Daniele Costanzo et al. "BIOTEX-Biosensing textiles for personalised healthcare management." *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine* 14, no. 2 (2010): 364-370.
- [30] Coyle, Shirley, Vincenzo F. Curto, Fernando Benito-Lopez, Larisa Florea, and Dermot Diamond. "Wearable bio and chemical sensors." (2014): 65-83.
- [31] Grillet, Augustin, Damien Kinet, Jens Witt, Marcus Schukar, Katerina Krebber, Fabrice Pirote, and Annick Depre. "Optical fiber sensors embedded into medical textiles for healthcare monitoring." *IEEE Sensors Journal* 8, no. 7 (2008): 1215-1222.
- [32] Jensen, Todd R., Robert G. Radwin, and John G. Webster. "A conductive polymer sensor for measuring external finger forces." *Journal of biomechanics* 24, no. 9 (1991): 851855-853858.
- [33] Maiolo, Luca, Francesco Maita, Alessandro Pecora, Antonio Minotti, Guglielmo Fortunato, Emanuele Smecca, and Alessandra Alberti. "A comparison among low temperature piezoelectric flexible sensors based on polysilicon TFTs for advanced tactile sensing on plastic." *Journal of Display Technology* 12, no. 3 (2016): 209-213.
- [34] You, Qiong, Ke-xing Lou, Xiao-qing Zhang, and Ye-wen Zhang. "Flexible sensors based on piezoelectret films." In *Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications (SPAWDA), 2011 Symposium on*, pp. 395-398. IEEE, 2011.
- [35] Luo, Ningqi, Jun Ding, Ni Zhao, Billy HK Leung, and Carmen CY Poon. "Mobile health: Design of flexible and stretchable electrophysiological sensors for wearable healthcare systems." In *Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2014 11th International Conference on*, pp. 87-91. IEEE, 2014.
- [36] Ando, Bruno, and Salvatore Baglio. "Inkjet-printed sensors: a useful approach for low cost, rapid prototyping [Instrumentation Notes]." *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine* 14, no. 5 (2011).
- [37] Khan, Saleem, Leandro Lorenzelli, and Ravinder S. Dahiya. "Technologies for printing sensors and electronics over large flexible substrates: a review." *IEEE Sensors Journal* 15, no. 6 (2015): 3164-3185.
- [38] Gong, Shu, Willem Schwalb, Yongwei Wang, Yi Chen, Yue Tang, Jye Si, Bijan Shirinzadeh, and Wenlong Cheng. "A wearable and highly sensitive pressure sensor with ultrathin gold nanowires." *Nature communications* 5 (2014): 3132.
- [39] Borges, Luis M., Andreia Rente, Fernando J. Velez, Luisa R. Salvado, António S. Lebes, J. Martinez Oliveira, Pedro Araújo, and João Ferro. "Overview of progress in Smart-Clothing project for health monitoring and sport applications." In *Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, 2008. ISABEL'08. First International Symposium on*, pp. 1-6. IEEE, 2008.
- [40] Reyes, Alexander, and Francisco J. Valero-Cuevas. "Inexpensive, wearable, wireless, multi-channel, and multi-sensor data acquisition system." In *Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT), 2013 IEEE*, pp. 216-219. IEEE, 2013.
- [41] Connolly, James, Kevin Curran, Joan Condell, and Philip Gardiner. "Wearable rehab technology for automatic measurement of patients with arthritis." In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on*, pp. 508-509. IEEE, 2011.
- [42] Locher, Ivo, and Gerhard Troster. "Fundamental building blocks for circuits on textiles." *IEEE Transactions on advanced packaging* 30, no. 3 (2007): 541-550.
- [43] Mitra, Kalyan Yoti "Flexible and Wearable Electronics" 2016, Chapter Six. Published by United Scholars Publications, USA. ISBN 978-0692751718
- [44] Paradiso, Rita, Laura Caldani, and Maria Pacelli. "Knitted Electronic Textiles." In *Wearable Sensors*, pp. 153-174. 2015.
- [45] Salvatore, Giovanni, and Gerhard Tröster. "Flexible Electronics from Foils to Textiles: Materials, Devices, and Assembly." In *Wearable Sensors*, pp. 199-233. 2015.
- [46] Ionescu, Ciprian, Detlef Bonfert, N. D. Codreanu, and Paul Svasta. "Investigations on current capabilities of PEDOT: PSS conductors." In *Electronics Technology (ISSE), 2012 35th International Spring Seminar on*, pp. 59-64. IEEE, 2012.
- [47] "Powerpaper." [Online]. Available: <http://www.powerpaper.cn/index.html>.
- [48] Axi, Fabrice, Pierre Michael Schmitt, Claudine Gehin, Georges Delhomme, Eric McAdams, and André Dittmar. "Flexible technologies and smart clothing for citizen medicine, home healthcare, and disease prevention." *IEEE Transactions on information technology in biomedicine* 9, no. 3 (2005): 325-336.
- [49] Nilsson, Erik, L. Mateu, P. Spies, and Bengt Hagström. "Energy harvesting from piezoelectric textile fibers." *Procedia Engineering* 87 (2014): 1569-1572.
- [50] Zhong, Junwen "Flexible and Wearable Electronics" 2016, Chapter Ten. Published by United Scholars Publications, USA. ISBN 978-0692751718
- [51] Sun, Ke, Teng-Sing Wei, Bok Yeop Ahn, Jung Yoon Seo, Shen J. Dillon, and Jennifer A. Lewis. "3D printing of interdigitated Li-Ion microbattery architectures." *Advanced Materials* 25, no. 33 (2013): 4539-4543.
- [52] Lee, Minbaek, Chih-Yen Chen, Sihong Wang, Seung Nam Cha, Yong Jun Park, Jong Min Kim, Li-Jen Chou, and Zhong Lin Wang. "A hybrid piezoelectric structure for wearable nanogenerators." *Advanced Materials* 24, no. 13 (2012): 1759-1764.
- [53] Mateu, Loreto, Tobias Dräger, Iker Mayordomo, and Markus Pollak. "Energy harvesting at the human body." In *Wearable Sensors*, pp. 235-298. 2015.
- [54] Cha, Shi-Cho, Kuo-Hui Yeh, and Jyun-Fu Chen. "Toward a Robust Security Paradigm for Bluetooth Low Energy-Based Smart Objects in the Internet-of-Things." *Sensors* 17, no. 10 (2017): 2348.
- [55] Saha, Himadri Nath, Abhilasha Mandal, and Abhirup Sinha. "Recent trends in the Internet of Things." In *Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2017 IEEE 7th Annual*, pp. 1-4. IEEE, 2017.
- [56] Hermann, M., Pentek, T., Otto, B., 2016. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. doi:10.1109/HICSS.2016.488
- [57] Kluge, A., Termer, A., 2017. Human-centered design (HCD) of a fault-finding application for mobile devices and its impact on the reduction of time in fault diagnosis in the manufacturing industry. *Appl. Ergon.* 59, 170-181. doi:10.1016/j.apergo.2016.08.030
- [58] Osswald, S., Weiss, A., Tscheligi, M., 2013. Designing Wearable Devices for the Factory Rapid Contextual Experience Prototyping 517-521.
- [59] Stiefmeier, T., Roggen, D., Ogris, G., Lukowicz, P., 2008. Wearable Activity Tracking in Car Manufacturing. *IEEE Pervasive Comput.* 7, 42-50
- [60] Schmunzsch, U., Sturm, C., Roetting, M., 2014. The warning glove e Development and evaluation of a multimodal action-specific warning prototype. *Appl. Ergon.* 45, 1297-1305. doi:10.1016/j.apergo.2013.09.015.