



Resultado intelectual IO4: eBook

LIBRO DE BUENAS PRÁCTICAS TEXTILES BASADAS EN SENSORES INTELIGENTES DESDE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN HASTA EL USUARIO FINAL

Editado por:
Georgios Priniotakis (UNIWA)
Ioannis Chronis (UNIWA)

El apoyo de la Comisión Europea a la producción de este ebook no constituye una aprobación de su contenido, que refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo.



CC BY 4.0; DIGITEX Consortium Partners.

La referencia debe incluir: "Book chapter", autores, " BOOK OF BEST PRACTICES SMART SENSORS BASED TEXTILES FROM PRODUCTION MANAGEMENT TO END-USER", Georgios Priniotakis y Ioannis Chronis, eds., Proyecto DIGITEX Erasmus+ (2020-1-RO01-KA226-HE-095335), 2021-2023, pp. x-y.

Todas las marcas comerciales y otros derechos sobre productos de terceros mencionados o presentados en este documento son reconocidos y propiedad de sus respectivos titulares.



RESUMEN

El proyecto DigiTEX tiene como objetivo apoyar los enfoques innovadores y las tecnologías de aprendizaje digital para acelerar la innovación, la enseñanza y el aprendizaje en el campo del diseño, ensayo y fabricación de productos avanzados innovadores para la atención sanitaria (equipos de protección, dispositivos de monitorización portátiles) en el contexto de la economía digital.

Este libro es el resultado intelectual nº 4 del proyecto DIGITEX. Abarca una serie de buenas prácticas que han sido diseñadas y desarrolladas en el campo de la atención sanitaria y los textiles de protección, proporcionando también la perspectiva del usuario final y el potencial de éxito en el mercado.

El libro pretende servir de introducción al sector, ofrecer una visión general de los casos ya existentes y estimular el interés por el sector, así como del proceso de innovación que debe aplicarse para diseñar y desarrollar tecnologías y aplicaciones pertinentes.



ÍNDICE

Capítulo 1 Evolución de los textiles con sensores	8
<i>Introducción</i>	8
<i>Sensores textiles de primera generación</i>	9
<i>Sensores textiles de segunda generación</i>	10
<i>Sensores textiles de tercera generación</i>	11
<i>Conclusiones</i>	12
Capítulo 2 Requisitos de los materiales textiles para sensores, accionadores, baterías y dispositivos portátiles	14
<i>Introducción</i>	14
<i>Sensores</i>	14
<i>Accionadores</i>	15
<i>Baterías</i>	15
<i>Dispositivos portátiles flexibles</i>	16
<i>Aplicaciones</i>	17
<i>Conclusiones</i>	17
Capítulo 3 Co-diseño de sensores e integración en productos EPI para la protección contra incendios y contra el agua	20
<i>Introducción</i>	20
<i>Sensores inteligentes para EPI contra incendios/agua</i>	21
<i>Codiseño de equipos de protección individual contra incendios y contra el agua</i>	23
<i>Integración de sensores en EPI de protección contra incendios</i>	24
<i>Integración de sensores en los EPI para la protección contra el agua</i>	24
<i>Conclusiones</i>	25
Capítulo 4 Co-diseño de sensores inteligentes e integración en dispositivos médicos	26
<i>Introducción</i>	26
<i>Sensores inteligentes para la sanidad</i>	27



<i>Codiseño de sensores biomédicos inteligentes</i>	28
<i>Integración de sensores inteligentes en dispositivos médicos</i>	29
<i>Conclusiones</i>	30
Capítulo 5 Co-diseño de textiles basados en actuadores para rehabilitación	33
<i>Introducción</i>	33
<i>Accionador y clasificación de los accionadores flexibles</i>	34
<i>Aplicación de textiles para rehabilitación basados en actuadores</i>	35
<i>Conclusiones</i>	40
Capítulo 6 Dispositivos recolectores basados en electrodos textiles.....	43
<i>Introducción</i>	43
<i>Tipos de dispositivos de recolección y fabricación</i>	43
<i>Conclusiones</i>	45
Capítulo 7 Requisitos de los usuarios finales y perspectiva en la selección de productos inteligentes.....	2
<i>Introducción</i>	2
<i>Requisitos del usuario final y perspectiva de los productos inteligentes</i>	5
<i>Conclusiones</i>	7
CAPÍTULO 8 Factores que influyen en la usabilidad y aceptabilidad de los componentes electrónicos integrados en productos textiles	11
<i>Introducción</i>	11
<i>Factores que influyen en la usabilidad y aceptabilidad de los componentes electrónicos integrados en productos textiles</i>	12
<i>Conclusiones</i>	15
Capítulo 9 Confort sensorial inteligente: análisis objetivo y subjetivo de los textiles inteligentes	17
<i>Introducción</i>	17
<i>Factores relacionados con el confort sensorial</i>	18
<i>Evaluación objetiva del confort sensorial</i>	19
<i>Evaluación subjetiva del confort sensorial</i>	21



<i>Conclusión</i>	24
Capítulo 10 Ética y requisitos de los sensores y actuadores inteligentes integrados en productos textiles	27
<i>Reglamento de protección de datos de la UE – GDPR</i>	27
<i>Datos de seguridad</i>	28
<i>Tecnologías textiles conductoras y seguridad</i>	29
<i>Casos prácticos</i>	31
<i>Conclusiones</i>	32
Capítulo 11 Impulsar la innovación en sensores inteligentes, actuadores y wearables mediante el codiseño y el codesarrollo	33
<i>Introducción</i>	33
<i>SMARTEES</i>	34
<i>Proyecto Galactica</i>	39
<i>Conclusiones</i>	40
Capítulo 12 Métodos creativos para el codiseño del producto textil inteligente ..	42
<i>Introducción</i>	42
<i>Métodos creativos de codiseño</i>	44
<i>Materiales textiles para ropa inteligente</i>	46
.....	47
<i>Conclusiones</i>	48
Capítulo 13 Co-diseño de sensores inteligentes e integración en EPI militares.....	49
<i>Introducción</i>	49
<i>Sensores de deformación</i>	50
<i>Conclusiones</i>	53
Capítulo 14 Co-diseño de actuadores basados en materiales sensoriales.....	55
<i>Introducción</i>	55
<i>Las propiedades del tejido que influyen en el confort sensorial</i>	56
<i>Propiedades de tracción de los tejidos</i>	57



<i>Corte de tejido</i>	58
<i>Espesor y compresión de tejidos</i>	58
<i>Confort sensorial de los tejidos</i>	59
<i>Conclusiones</i>	59
Capítulo 15: Legislación nacional y europea sobre productos inteligentes, sensoriales y wearables.....	61
<i>Recomendaciones de actuación</i>	61
<i>Adaptar el marco normativo a la tecnología ponible</i>	61
<i>Regulación de los costes de itinerancia</i>	63
<i>Fomento de la integración de la tecnología ponible en los dispositivos médicos</i>	63
<i>Conclusiones</i>	64
Capítulo 16: Análisis sintético -textil, sensores, wearables.....	66
<i>Introducción</i>	66
<i>Análisis de textiles inteligentes</i>	66
<i>Un modelo de diseño para textiles inteligentes</i>	68
<i>Conclusiones</i>	69
Capítulo 17: Dinámica del mercado de los textiles inteligentes basados en la electrónica	71
<i>Potenciales de mercado</i>	71
<i>Potenciales sociales</i>	72
<i>Dinámica de la cadena de valor</i>	74
Capítulo 18: Dinámica del mercado de los textiles sensoriales	78
<i>Evolución reciente de las prendas inteligentes</i>	78
<i>Prendas sensorizadas</i>	79
Capítulo 19: Diseño ecológico para sensores, baterías y actuadores	85
<i>Abstract</i>	85
<i>Introducción</i>	85



<i>Selección de materiales</i>	85
<i>Diseño ecológico de baterías portátiles, dispositivos de almacenamiento y recolección de energía</i>	88
<i>Ecodiseño de actuadores portátiles</i>	89
<i>Conclusiones</i>	89
Capítulo 20: Codiseño de sensores inteligentes e integración en EPI para riesgos químicos y biológicos	91
<i>Abstract</i>	91
<i>Introducción</i>	91
<i>Conceptos básicos de diseño</i>	91
<i>Aplicaciones y características de los sensores químicos inteligentes</i>	92
<i>Aplicaciones y características de los sensores biológicos inteligentes</i>	93
<i>Conclusiones</i>	93
Capítulo 21: Producción centrada en el usuario final de sensores y actuadores inteligentes	96
<i>Abstract</i>	96
<i>Introducción</i>	96
<i>Desafíos en la producción de componentes de EPI inteligentes centrados en el usuario final</i>	96
<i>Tendencias recientes en la gestión de riesgos de SSO y directrices para las tecnologías de producción de EPP</i>	97
<i>Conclusiones</i>	98



Capítulo 1 Evolución de los textiles con sensores

*Ioannis Chronis, Georgios Priniotakis y Athanasios Panagiotopoulos UNIWA,
GRECIA*

Introducción

La investigación en el campo científico de los sensores textiles se remonta a varias décadas atrás, y viene de la mano de la evolución de los llamados textiles inteligentes, wearables y e-textiles. El comienzo fue cuando se introdujeron en los hilos o tejidos materiales no convencionales que cambiaban de propiedades debido a estímulos externos. Los textiles y las prendas de vestir son los productos comerciales más utilizados sobre el cuerpo humano y la capacidad de la prenda para transmitir información a los humanos se consideró no sólo muy útil para los clientes, sino también muy prometedora y atractiva desde el punto de vista del marketing. Los sensores textiles son uno de los componentes vitales de un textil inteligente y no hace falta detallar más que la evolución de los sensores textiles, va de la mano de la evolución de los textiles inteligentes en general.

En el resto de este capítulo, distinguimos tres generaciones de sensores textiles (Figura 1.1), aunque debemos dejar claro que todas estas generaciones de tecnologías siguen evolucionando y las aplicaciones siguen desarrollándose, con resultados prometedores para las tres generaciones de sensores textiles descritas.

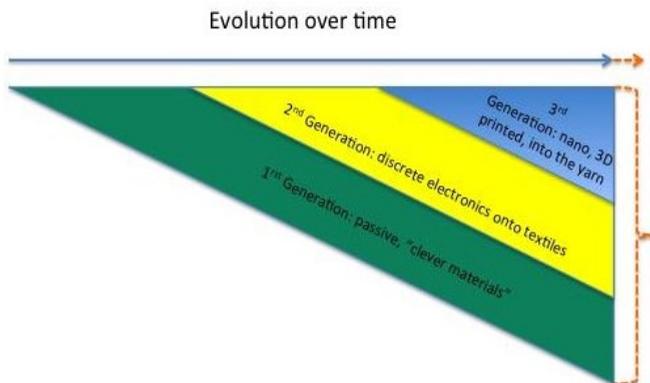


Figura 1.1. Evolución en el tiempo de los sensores textiles



Sensores textiles de primera generación

La primera generación de sensores textiles está definida por materiales que podían crear una señal simple y de baja calidad/información, como un cambio de la forma o del color en función de un cambio en el entorno del textil (estímulos). Esta capacidad de detección se atribuyó a nuevos materiales de la época, cuyo ejemplo más típico son los polímeros con memoria de forma, los materiales crómicos y de cambio de fase, etc. Estos materiales son pasivos: no necesitan alimentación eléctrica ni un sistema de entrada, procesamiento o salida, y actúan como sensores y accionadores en un sistema de automatización típico.

Los materiales de cambio de fase tienen la capacidad de cambiar de fase, en función de la temperatura, normalmente de sólido a líquido y viceversa. Los materiales más utilizados para este fin son los hidrocarburos sólidos (ceras), contenidos en espumas o microcápsulas, que se añaden al tejido por estratificación o hilatura húmeda. Estos materiales poseen tanto la función de detección como la de actuación y suelen utilizarse para calentar las prendas en función de la temperatura ambiente [1], [2].

Los polímeros con memoria de forma son polímeros orgánicos que pueden modificar su forma en función de un estímulo como el calor, el pH, la radiación, etc. Son una mezcla de dos polímeros (copolímero) con diferentes puntos de fusión, que es el mecanismo del cambio de forma. Su principal ventaja es que pueden hilarse y crear un tejido con memoria de forma [3].

Otros materiales de esta categoría son los tejidos crómicos, que cambian de color, las fibras ópticas, que transmiten, detectan y transmiten la luz, y los tintes sensibles al pH, que cambian de color según el pH del líquido absorbido en la superficie del tejido. Los tintes contienen sustancias indicadoras del pH [4]. Deben fijarse en el hilo o el tejido. La integración es buena, pero la capacidad de detección es mínima, por lo que estos productos siguen siendo prototipos y no se han comercializado.

Los sensores de presión capacitivos son otra aplicación desarrollada en esta época [5]. A diferencia de los sensores de presión piezoeléctricos, pueden integrarse mucho mejor en un tejido mediante bordado o incluso cosido. Una aplicación relevante son los teclados bordados, que utilizaban una matriz de sensores de presión de hilos conductores y no conductores para crear una señal binaria (0/1, sí/no). Simple, lavable, fabricable (mediante bordado), fiable pero, por supuesto, de baja calidad/información como señal electrónica. Aunque los teclados no suelen ser sensores en sí, podrían incluirse en esta categoría, ya que proporcionan



comunicación del textil con el usuario/usuario y forman parte de la parte inteligente de los textiles inteligentes, como hacen los sensores [6].

Sensores textiles de segunda generación

La segunda generación de sensores textiles se basaba en sensores electrónicos convencionales discretos, con conexión por cable o inalámbrica a microcontroladores o placas de circuito impreso (PCB). Estas aplicaciones se popularizaron gracias a la producción en serie y a la disponibilidad de una amplia gama de sensores, así como a la digitalización de la electrónica y la comunicación. Esta generación de sensores textiles representa la creación de prototipos que podían proporcionar señales e información realmente útiles. Las aplicaciones se centraron principalmente en la biometría del cuerpo humano y la vigilancia de la salud y el bienestar. Esto es bastante razonable dado el carácter siempre activo de la prenda y la naturaleza no invasiva de los sensores biométricos.

Un ejemplo emblemático es el ecosistema Arduino Lilypad, que, debido a su pequeño tamaño, puede permitirse una mejor inclusión (cosido, costura, etc.) en sustratos textiles convencionales (tela, prenda). El Arduino Lilypad fue introducido en 2007 y es una placa microcontroladora de la familia Arduino, diseñada para textiles, lo que significa que tiene agujeros para coser en las prendas y tiene una forma parecida a una flor que puede ser mejor aceptada estéticamente como accesorio de una prenda [7].

El ecosistema Arduino Lilypad incluye varios sensores de pequeño tamaño, coste asequible y para diversos parámetros: sonido, temperatura, humedad, llama, fotoresistencia, movimiento, nivel y muchos más. Se conectaron a la CPU (Arduino Lilypad) con hilos conductores bordados o cosidos. Desde el punto de vista técnico, Arduino Lilypad no es una gran evolución, ya que se trata de un ecosistema de componentes electrónicos convencionales, con escasa integración en las prendas y un resultado estéticamente bastante pobre. Sin embargo, fue un gran impulso para los esfuerzos y prototipos de bricolaje en el sector de los textiles inteligentes, y proporcionó un buen punto de partida para varios esfuerzos para prototipos debido principalmente a:

- la sencilla, y barata ropa de mano (dispositivos de entrada y salida como sensores),
- el entorno de programación sencillo y fácil para programadores no informáticos y



- la gran comunidad que apoya a los creadores.

En este aspecto, es un puente casi ideal para los diseñadores de sistemas inteligentes (electrónica) con los diseñadores de moda de productos textiles. Es una buena base para los novatos en este sector, algunos de los cuales pasarán a creaciones más funcionales y a la moda.

Otra solución de esta generación es el ecosistema de sensores vestibles The Smimmer®, que se presentó en 2006 y se ha desarrollado desde entonces hasta convertirse en una solución completa para aplicaciones destinadas principalmente a soluciones médicas y de bienestar [8].

Las aplicaciones y prototipos de esta generación de sensores inteligentes, tenían el problema de la lavabilidad de las partes electrónicas, especialmente para la fuente de alimentación portátil (batería) pero también para los sensores. La solución era separar la parte electrónica de la prenda y lavar el sustrato de la prenda para luego volver a colocar la parte electrónica. Alternativamente, las partes electrónicas se encapsulaban en contenedores impermeables, una solución técnicamente correcta, pero por supuesto el elemento de moda es muy limitado. La limpieza en seco es la solución preferida en este caso, pero es cara y no está exenta de problemas, ya que no se realiza en el hogar, sino en tiendas donde no se puede garantizar el estado del textil inteligente y de sus partes/componentes.

Sensores textiles de tercera generación

La tercera generación se basa en materiales textiles mejorados con propiedades sensoras inherentes, gracias a recubrimientos de nanopartículas o incluidos en el tejido o el hilo durante el proceso de hilado. Se pueden crear estructuras textiles más sofisticadas técnicamente: sensores con material multicapa de metales electroconductores o polímeros inherentemente conductores (ICP). La integración es mucho mejor y el producto tiene el aspecto y el tacto de un producto textil normal. [9]. La expansión de la nanotecnología es la base de estos nuevos sensores textiles y probablemente marcará el inicio de productos reales que comercializaremos masivamente, debido a la disponibilidad de técnicas de producción masiva, así como al atractivo del producto textil inteligente que se verá y sentirá como uno convencional.

La impresión en 3D de sensores textiles es otro avance reciente que puede permitirse un proceso de producción masiva, lo que supone un gran paso adelante hacia la comercialización de los textiles inteligentes. Los sensores se fabrican con polímeros conductores y flexibles y, de este modo, se integran mucho mejor en la



prenda, evitando el problema de la dureza de los componentes electrónicos discretos en los textiles inteligentes [10].

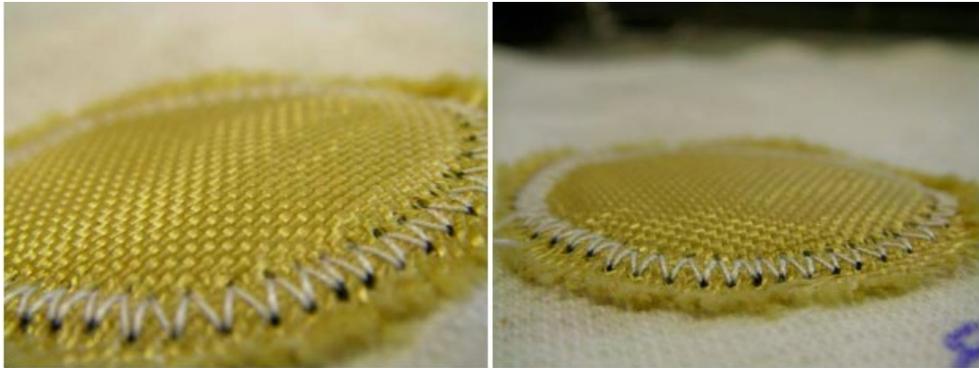


Figura 1.2. Electrodo textil de para-aramida recubierto de oro (Tzerahoglou et al. 2011)

Conclusiones

La evolución en el tiempo de los textiles inteligentes puede dividirse en tres generaciones. Aunque esta clasificación se basa en el tiempo, hay diferencias significativas en la base técnica y el enfoque de los productos pertinentes, y todavía se están desarrollando aplicaciones de las tres generaciones, con distintos niveles de éxito comercial. Es probable que los resultados más prometedores procedan de sensores textiles que interrelacionen eficazmente el elemento sensor y el textil, de modo que puedan utilizarse realmente en un producto que los usuarios finales consideren un producto textil.

Referencias

1. fibre2fashion, 2022, PCM in textiles <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/81/pcm-in-textiles>, accessed 1/12/2022
2. Mondal S., 2008, Phase change materials for smart textiles – An overview, *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 1536–1550,
3. Gök Mustafa O., Mehmet Z. Bilir, Banu H. Gürcüm, Shape-Memory Applications in Textile Design, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 195, 2015, Pages 2160-2169, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.283>.
4. Halili Albana, Ilda Kazani, Genti Guxho, Nano-based Wearable Textile Sensors: a review on latest developments, *Journal of Natural and Technical Sciences (JNTS)*, No 43 / 2017 (XXII), pg. 144-161



5. Sergio M., N. Manaresi, M. Tartagni, R. Guerrieri and R. Canegallo, "A textile based capacitive pressure sensor," *SENSORS, 2002 IEEE*, Orlando, FL, USA, 2002, pp. 1625-1630 vol.2, doi: 10.1109/ICSENS.2002.1037367.
6. M. Rofouei, M. Potkonjak and M. Sarrafzadeh, "Energy efficient E-Textile based portable keyboard," *IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Fukuoka, Japan, 2011, pp. 339-344, doi: 10.1109/ISLPED.2011.5993660.
7. Leah Buechley and Benjamin Mako Hill, 2010. LillyPad in the wild: how hardware's long tail is supporting new engineering and design communities. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 199–207. <https://doi.org/10.1145/1858171.1858206>
8. <https://shimmersensing.com/>, accessed 115/1/2023
9. Anjali Bishnoi, T.S. Rajaraman, Charu Lata Dube, Nikita J. Ambegaonkar,, 3Smart nanosensors for textiles: an introduction, Chapter 2 In *Micro and Nano Technologies, Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*, Andrea Ehrmann, Tuan Anh Nguyen, Phuong Nguyen Tri, editors ,Elsevier, 2021,, Pages 7-25 .
10. Gandler M., F. Eibensteiner and J. Langer, "3D Printable Sensors for Smart Textiles," *2019 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, Zilina, Slovakia, 2019, pp. 153-157, doi: 10.1109/DT.2019.8813686.
11. A. Tzerachoglou E. Kapsalis1 , I. Chronis, G. Priniotakis , G. Pikoulis, L. Karabarpas , D. Piromalis, D. Tseles Gold coated textile electrodes for wearable bio-potential monitoring systems, *FiberMed11* 28-30 June 2011, Tampere, Finland



Capítulo 2 Requisitos de los materiales textiles para sensores, accionadores, baterías y dispositivos portátiles

Athanasios Panagiotopoulos, Ioannis Chronis y Georgios Priniotakis

UNIWA, Grecia

Introducción

La combinación de tejidos y propiedades sensoras lleva a la creación de lo que llamamos sensores textiles inteligentes. Son sensibles a múltiples estímulos físicos y químicos, como cambios de temperatura, presión, fuerza, corriente eléctrica, etc. Los elementos sensores pueden incorporarse a los tejidos a cualquier nivel en función del elemento estructural del tejido que se modifique o sensibilice. Estos sensores de tejidos inteligentes pueden considerarse parte del término más general de transductores de tejidos inteligentes [1].

Podemos dividir los transductores textiles inteligentes en tres categorías principales: sensores, accionadores y baterías.

Sensores

Los materiales textiles que suelen utilizarse en los sensores pueden dividirse a grandes rasgos en tejidos, hilos y fibras. En el caso de los sensores de presión, para detectar o percibir los cambios de tensión, tacto y presión y convertirlos en señales eléctricas, suelen ser necesarias fibras conductoras, como las fibras de acero inoxidable y las fibras de carbono, que conducen la electricidad [2].

En la creación de sensores basados en tejidos se utilizan distintos materiales y técnicas. Algunas técnicas que se han utilizado son el empapado, la serigrafía, el recubrimiento por inmersión, el electrospinning, el crecimiento in situ y la polimerización en fase vapor [3-4].

Para la fabricación de diferentes tipos de sensores basados en tejidos son necesarias diferentes combinaciones de materiales y procedimientos. Estos sensores pueden incluir sensores de presión capacitivos, sensores piezoeléctricos y sensores de presión triboeléctricos.



Accionadores

Para categorizar los accionadores podríamos utilizar propiedades como la tensión, la deformación, la velocidad de deformación, la vida de ciclo y el módulo elástico. Los diferentes mecanismos de los accionadores son [5]:

- Actuación por campo eléctrico
- Actuación basada en iones
- Actuación neumática
- Actuación térmica
- Otros mecanismos de actuación

Algunas de estas mecánicas consisten en componentes rígidos, mientras que otras permiten su uso en textiles inteligentes. Los **accionadores** se operan bajo el mecanismo de un cambio dimensional del material que es causado por la adición o eliminación de carga de la estructura del polímero [6].

En esta categoría se incluyen los siguientes accionadores. Actuadores de nanotubos de carbono [7], textiles actuadores basados en CNT [8], actuadores de aleaciones con memoria de forma [9]. Actuadores de fibras sintéticas retorcidas y enrolladas [10], hilos de CNT/spandex tejidos como textiles inteligentes [11].

En general, el mecanismo de los accionadores debe seleccionarse teniendo muy en cuenta las necesidades del usuario final. En el caso de los textiles inteligentes, la atención se ha centrado en los accionadores térmicos. Esto puede deberse principalmente a la utilización del calentamiento electrotérmico como fuente de energía fiable y limpia.

Baterías

Incluso con todos los avances tecnológicos y los grandes pasos que se han dado, hay cosas que no cambian. Y una de ellas es que las pilas siguen siendo la forma de almacenar energía. Hablar de pilas flexibles requiere examinar los componentes de los que consta una pila.

Una pila tiene principalmente cuatro componentes. El ánodo, el cátodo, el separador y el electrolito [12]. Para que una batería sea flexible debemos hacer que sus componentes sean flexibles. Un electrodo flexible puede ser de carbono, grafeno u óxido metálico.



Hasta ahora, las baterías de iones de litio se han centrado en las baterías flexibles basadas en fibra. Para un electrodo de fibra, las principales opciones son el grafeno o los CNT. Las técnicas para ello incluyen el doble hilado y el recubrimiento [13].

Un electrolito flexible es otro aspecto importante de lo que sería una batería flexible. Se han descrito electrolitos de gel-polímero y de estado sólido para baterías flexibles [14].

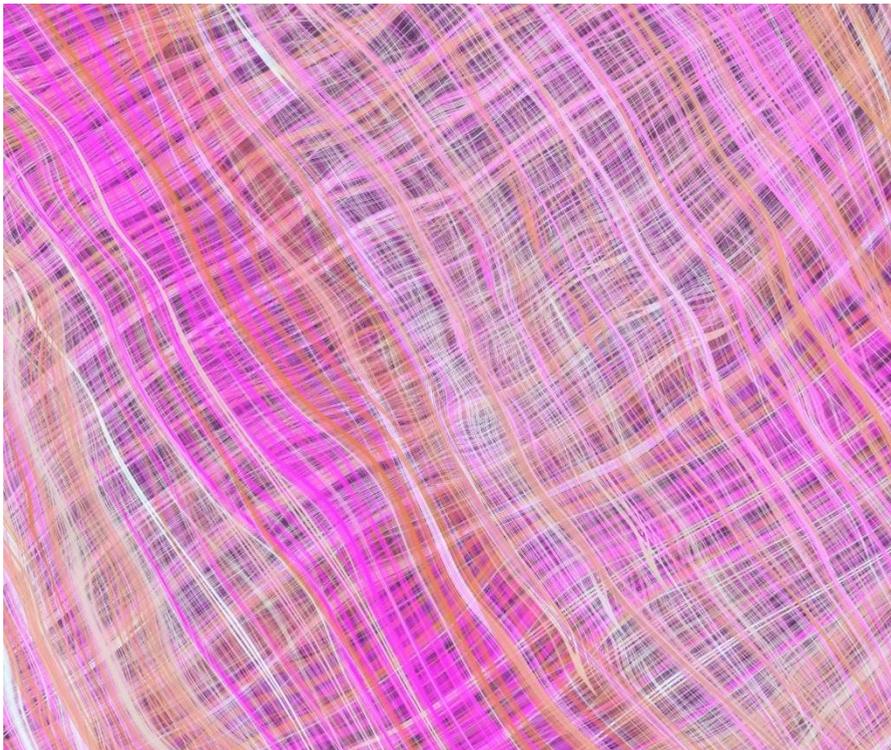


Figura 2.1 - Prendas inteligentes basadas en textiles

Dispositivos portátiles flexibles

Para crear dispositivos portátiles que sean flexibles y cuya base sea textil, las opciones son diferentes fibras conductoras. Se trata de hilos metálicos, fibras metalizadas, polímeros conductores, fibras de CNT puras y fibras de CNT-polímero.

Los hilos metálicos tienen una alta conductividad eléctrica, pero también una alta densidad, son fáciles de oxidar y tienen una baja resistencia a la tracción. Las fibras



recubiertas de metal pueden controlar la conductividad eléctrica mediante el grosor de la capa recubierta, pero si la capa de metal es fina, la resistencia es alta. Además, la durabilidad de la capa metálica es débil. Las propiedades de los polímeros conductores son similares a las de las fibras convencionales. La baja conductividad y la procesabilidad son los principales obstáculos de esta categoría. En el caso de las fibras puras de CNT, los nanomateriales plantean algunos problemas de seguridad, pero su elevada resistencia a la tracción y su alta conductividad eléctrica son prometedoras. Los compuestos de CNT y polímero tienen propiedades físicas similares a las de las fibras convencionales, aunque la superficie es rugosa y presenta una alta resistencia [15].

Otras piezas que podrían estar compuestas por algún tipo de fibra son las placas de circuitos textiles [16], los transistores basados en fibras [17] y los circuitos electrónicos en textiles [18].

Aplicaciones

Todos estos dispositivos o componentes de un dispositivo fabricados en cierta medida con textiles podrían encontrar aplicación en campos tan diversos como la vigilancia de la salud humana, el deporte, el ejército, la vida cotidiana o los hábitos alimentarios.

Conclusiones

En la actualidad se dispone de un amplio conjunto de materiales y componentes diferentes para la creación de sensores textiles. El nivel de integración en el sustrato textil es ahora mayor, gracias a los avances en micro y nanotecnologías, así como en métodos y materiales de recubrimiento de hilos. Las estructuras flexibles que pueden añadirse a una prenda proporcionan funciones de detección satisfactorias, sin perjudicar la naturaleza flexible y "drapeable" del producto textil.

Referencias

- [1] Castano, L. M., & Flatau, A. B. (2014). Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review. *Smart Materials and Structures*, 23(5), 053001. doi:10.1088/0964-1726/23/5/053001
- [2] Zhang, J., Zhang, Y., Li, Y., & Wang, P. (2021). Textile-Based Flexible Pressure Sensors: A Review. *Polymer Reviews*, 1–31. doi:10.1080/15583724.2021.1901737
- [3] Wang, Z.; Si, Y.; Zhao, C.; Yu, D.; Wang, W.; Sun, G. Flexible and Washable Poly(Ionic Liquid) Nanofibrous Membrane with Moisture Proof Pressure Sensing for Real-Life Wearable Electronics. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, 11, 27200–27209. DOI: 10.1021/acsami.9b07786.
- [4] Zhou, Z.; Li, Y.; Cheng, J.; Chen, S.; Hu, R.; Yan, X.; Liao, X.; Xu, C.; Yu, J.; Li, L. Supersensitive All-Fabric Pressure Sensors Using Printed Textile Electrode Arrays for Human Motion Monitoring and Human-Machine Interaction. *J. Mater. Chem. C* 2018, 6, 13120–13127. DOI: 10.1039/C8TC02716A.
- [5] Kongahage, D., & Foroughi, J. (2019). Actuator materials: review on recent advances and future outlook for smart textiles. *Fibers*, 7(3), 21.
- [6] Kaneto, K. Research Trends of Soft Actuators based on Electroactive Polymers and Conducting Polymers. *J. Phys. Conf. Ser.* 2016, 704, 012004
- [7] Li, D.; Paxton, W.F.; Baughman, R.H.; Huang, T.J.; Stoddart, J.F.; Weiss, P.S. Molecular, supramolecular, and macromolecular motors and artificial muscles. *MRS Bull.* 2009, 34, 671–681.
- [8] Zhang, M.; Atkinson, K.R.; Baughman, R.H. Multifunctional Carbon Nanotube Yarns by Downsizing an Ancient Technology. *Science* 2004, 306, 1358–1361
- [9] Lan, C.-C.; Wang, J.-H.; Fan, C.-H. Optimal design of rotary manipulators using shape memory alloy wire actuated flexures. *Sens. Actuators A Phys.* 2009, 153, 258–266
- [10] Stegmaier, T.; Mavely, J.; Schneider, P. CHAPTER 6: High-Performance and High-Functional Fibres and Textiles. In *Textiles in Sports*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands; pp. 89–119.
- [11] Foroughi, J.; Spinks, G.M.; Aziz, S.; Mirabedini, A.; Jeiranikhameneh, A.; Wallace, G.G.; Kozlov, M.E.; Baughman, R.H. Knitted Carbon-Nanotube-Sheath/Spandex-Core Elastomeric Yarns for Artificial Muscles and Strain Sensing. *ACS Nano* 2016, 10, 9129–9135.
- [12] Khan, M. I., Hassan, M. M., Rahim, A., & Muhammad, N. (2020). Flexible Batteries. *Rechargeable Batteries*, 41–60. doi:10.1002/9781119714774.ch3



- [13] Sun, C.-F., Zhu, H., Baker, E.B., III, Okada, M., Wan, J., Ghemes, A. et al., Weavable high-capacity electrodes. *Nano Energy*, 2, 987–94, 2013
- [14] Yue, L., Ma, J., Zhang, J., Zhao, J., Dong, S., Liu, Z. et al., All solid-state polymer electrolytes for high-performance lithium ion batteries. *Energy Storage Mater.*, 5, 139–64, 2016
- [15] Baeg, K., & Lee, J. (2020). Flexible Electronic Systems on Plastic Substrates and Textiles for Smart Wearable Technologies. *Advanced Materials Technologies*, 2000071. doi:10.1002/admt.202000071
- [16] C. Kallmayer, R. Pisarek, A. Neudeck, S. Cichos, S. Gimpel, R. Aschenbrenner, H. Reichlt, presented at Proc. of 53rd Electronic Components and Technology Conference, 2003, May 2003.
- [17] J. B. Lee, V. Subramanian, IEEE International Electron Devices Meeting 2003, Washington, DC, USA 2003, pp. 8.3.1–8.3.4
- [18] Chuangchote, S., Sagawa, T., & Yoshikawa, S. (2011). Design of metal wires-based organic photovoltaic cells. *Energy Procedia*, 9, 553-558.



Capítulo 3 Co-diseño de sensores e integración en productos EPI para la protección contra incendios y contra el agua

Aileni Raluca Maria y Cristina Stroe, INCDTP, Rumanía

Resumen: El codiseño de sensores inteligentes y su integración en EPI para bomberos o submarinistas incluye la integración de diferentes sensores que contienen microcontroladores, módulos de comunicación y aplicaciones de software adecuadas para el tratamiento de datos con el fin de medir parámetros biomédicos (pulso, temperatura, pulsaciones, nivel de oxígeno) o medioambientales (nivel de oxígeno, profundidad, presión, temperatura, composición de gases) para ayudar a los trabajadores en su actividad y garantizar que las condiciones de trabajo sean seguras. La integración de sensores inteligentes vestibles en productos textiles se basa principalmente en la flexibilidad y miniaturización de los sensores, mientras que la integración de algunos sensores inteligentes para buceo o protección contra incendios consiste en integrar algunos componentes rígidos.

Introducción

En condiciones normales, el sistema termorregulador del cuerpo humano actúa como controlador de la temperatura o la humedad. Sin embargo, en entornos nocivos (bajo el agua, fuego), por desgracia, el cuerpo humano no dispone de control suficiente para compensar el aumento de la presión en profundidad o el calentamiento excesivo debido al fuego, lo que puede provocar accidentes graves y lesiones corporales que pueden poner en peligro la vida de los buceadores [1,2]. Por lo general, en las inmersiones, el sistema de monitorización que debe proporcionar información sobre la presión, el ritmo respiratorio y la ubicación se protege con fundas de plástico y se fija a los buceadores (Figura 1.1.a). En general, las situaciones subacuáticas implican bucear con ordenadores pequeños y robustos capaces de computar información sobre la profundidad del agua, la temperatura del agua, la presión, el nivel de oxígeno, el nivel de batería, los ritmos respiratorios o la temperatura corporal. La presión subacuática está influida por la profundidad de inmersión y puede controlarse mediante un ordenador de buceo conectado a



un sensor de presión digital que ofrezca información sobre la profundidad de inmersión, el nivel local del agua, los restos de gas en las botellas de respiración y el tiempo seguro para una inmersión. Para este tipo de sistemas en entornos hostiles, es esencial la resistencia a la corrosión (por ejemplo, agua salada) y el bajo consumo de energía en aplicaciones remotas durante un periodo prolongado [3, 4]. Para la monitorización subacuática, se utilizan sensores piezoresistivos porque son resistentes y pueden funcionar en esas condiciones, integrados en smartwatches (figura 1.1.b), boyas sonar y tanques. De este modo, podemos observar que estos sensores no se pueden integrar en textiles porque son muy robustos, sin componentes flexibles [4]. **Principalmente, todos los smartwatches y herramientas de profundidad han sido dispositivos analógicos, pero los sensores de diseño para la presión tienen ventajas significativas porque los componentes y transductores piezoeléctricos están integrados y pueden integrarse fácilmente con los ordenadores en comparación con los analógicos.**



a. Equipos de buceo



b. Sensores de mérito basados en smartwatches

Figura 3.1. Buceador equipado con el sistema de grabación y una cámara de vídeo (encima del brazo izquierdo/derecho) [3]

Sensores inteligentes para EPI contra incendios/agua

La integración de sensores inteligentes en los EPI contra el agua o el fuego es un requisito que garantiza la autonomía y la vigilancia continua del usuario. Aunque los sensores analógicos basados en electrodos textiles flexibles (fibras, hilos) pueden integrarse en un textil mediante costura, bordado, tejido, punto o tecnología no tejida, para el agua y el fuego, los EPI, los sensores inteligentes compactos han demostrado resistencia en entornos nocivos (entorno corrosivo,



alta temperatura, humedad). Además, los electrodos de superficie textil para sensores de temperatura o humedad del cuerpo humano pueden utilizarse si no están en contacto directo con el agua o el fuego. De lo contrario, estos electrodos pueden destruirse y no pueden garantizar la precisión de la monitorización. Los sensores inteligentes contienen varios componentes, como un microprocesador, un sensor, tecnología de comunicación inalámbrica (por ejemplo, WiFi) y tecnologías de software (ADC, procesamiento de datos), interfaz de usuario a través de agregadores (smartphone, tableta) y generan señales digitales cuando se monitoriza una medida física (por ejemplo, temperatura, presión, humedad). Los sensores inteligentes que se utilizan en los equipos EPI pueden ofrecer información sobre el estado de salud del usuario, el entorno (composición química de la atmósfera [por ejemplo, dióxido de nitrógeno (NO₂), óxido nítrico (NO) y monóxido de carbono (CO), temperatura, humedad, profundidad, nivel de radiación] o sobre los dispositivos que garantizan la supervivencia en un entorno tóxico (nivel de oxígeno en la botella de buceo) [4]. Por ejemplo, en el caso de las inmersiones, es esencial vigilar la presión, la profundidad y la concentración de O₂ porque puede producirse una enfermedad descompresiva generada por burbujas intravasculares o extravasculares debido a una reducción de la presión ambiental [5, 6]. Además, la toxicidad del oxígeno se produce cuando la presión del oxígeno es de 1,4 atmósferas o superior a una profundidad de 57 metros al respirar aire (por ejemplo, para 10 m de profundidad en el agua, un buceador está expuesto a una presión adicional de 1 ATA [7]) o a profundidades menores cuando las concentraciones de oxígeno al respirar son superiores al 20% [8, 9].

Los sensores inteligentes para EPI acuáticos o contra incendios contienen los siguientes componentes

- sensores;
- microprocesador
- módulo de comunicación;
- software (ADC, procesamiento de datos);
- agregadores (smartphone, tableta).



Codiseño de equipos de protección individual contra incendios y contra el agua

El método de diseño conjunto de equipos de protección individual contra incendios/agua (figura 1.2) con sensores integrados consiste en establecer los objetivos, especificaciones, propiedades y limitaciones de los sensores mediante un grupo de especialistas con las competencias pertinentes:



a. EPI de bombero

b. EPI de buceo

c. EPI acuático

Figura 3.2 . EPI de protección contra el agua y el fuego

- ✓ Usuarios finales - bomberos/buceadores/trabajadores con chorros de agua (ofreciendo la perspectiva del usuario, casos reales de uso, necesidades, aspectos relacionados con la comodidad y aceptabilidad del producto).
- ✓ Ingenieros con especializaciones (licenciatura, máster y doctorado) en textiles (hilado, tejido, punto y prendas textiles) que ofrezcan información sobre diseño, fabricación y normalización de productos;
- ✓ Ingenieros especializados (licenciatura, máster y doctorado) en informática, que ofrezcan información sobre las posibilidades de desarrollar el software adecuado para el hardware propuesto (sensores y microcontroladores);
- ✓ Médicos (ofreciendo perspectiva médica: aspectos relacionados con los parámetros a evaluar considerando los casos de uso específicos (fuego/agua));
- ✓ Ingenieros con especialización (licenciatura, máster y doctorado) en electrónica que ofrezcan información sobre diseño, fabricación y estandarización de sensores.



La diversidad de enfoques permitirá diseñar un producto completo teniendo en cuenta todos los riesgos posibles y las especificaciones de diseño de la interfaz en diferentes condiciones complejas.

Integración de sensores en EPI de protección contra incendios

En función de la flexibilidad y el grado de miniaturización, los sensores inteligentes pueden integrarse en los EPI para la protección contra incendios.

Los sensores inteligentes deben integrarse en los EPI de protección contra incendios para su control a distancia:

- Sensor de pulso;
- Sensor de gas (control del nivel de oxígeno);
- Sensor de temperatura;
- Sensor de humedad;
- Módulo de localización (GPS) y dispositivo de audio (AD).
- Acelerómetros/giroscopio

Integración de sensores en los EPI para la protección contra el agua

Los EPI para el personal que trabaja bajo el agua o en contacto con ella deben integrar la monitorización a distancia para evitar la hipoxia u otras lesiones:

- Sensores de temperatura;
- Nivel y concentración de oxígeno;
- Sensores de humedad;
- Módulos de localización (GPS) y comunicación (dispositivo de audio);
- Tiempo de aire
- Profundidad
- Presión



Conclusiones

La integración de sensores inteligentes en los EPI contra el agua o el fuego es una exigencia porque puede generar múltiples ventajas para los trabajadores en entornos nocivos, como la autonomía y la vigilancia continua del usuario. Los sensores analógicos basados en hardware compacto y electrodos textiles flexibles (fibras, hilos) pueden integrarse en un textil mediante costura, bordado, tejido, punto o tecnología no tejida para EPI de agua y fuego, tienen una buena resistencia en entornos nocivos (entorno corrosivo, alta temperatura, humedad). El co-diseño de EPI contra incendios/agua con sensores integrados consiste en establecer los objetivos, especificaciones, propiedades y limitaciones de los sensores integrados utilizando un grupo adecuado de especialistas como bomberos, buceadores, trabajadores con chorros de agua, ingenieros con formación en textil, ciencia de los materiales, electrónica e informática y personal médico para definir los casos de uso apropiados.

Referencias

1. Dietrich, A.J., 1999. US Navy Diving Manual: Air Diving (Vol. 1). DIANE Publishing.
2. Andrew, B.T. and Doolette, D.J., 2020. Manned validation of a US Navy Diving Manual, Revision 7, VVal-79 schedule for short bottom time, deep air decompression diving. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 50(1), p.43.
3. Altepe, C., Egi, S.M., Ozyigit, T., Sinoplu, D.R., Marroni, A. and Pierleoni, P., 2017. Design and validation of a breathing detection system for scuba divers. *Sensors*, 17(6), p.1349.
4. Moon, R.E., 1999. Treatment of diving emergencies. *Critical care clinics*, 15(2), pp.429-456.
5. Yu, X., Xu, J., Huang, G., Zhang, K., Qing, L., Liu, W., Xu, W., 2017. Bubble-induced endothelial microparticles promote endothelial dysfunction. *PloS one*, 12(1), p.e0168881.
6. Vann, R.D., Butler, F.K., Mitchell, S.J., Moon, R.E., 2011. Decompression illness. *The Lancet*, 377(9760), pp.153-164.
7. Bosco, G., Rizzato, A., Moon, R.E. and Camporesi, E.M., 2018. Environmental physiology and diving medicine. *Frontiers in psychology*, 9, p.72.
8. Pendergast, D.R., Moon, R.E., Krasney, J.J., Held, H.E. and Zamparo, P., 2015. Human physiology in an aquatic environment. *Compr Physiol*, 5(4), pp.1705-50.
9. DeGorordo, A., Vallejo-Manzur, F., Chanin, K. and Varon, J., 2003. Diving emergencies. *Resuscitation*, 59(2), pp.171-180.



Capítulo 4 Co-diseño de sensores inteligentes e integración en dispositivos médicos

Aileni Raluca Maria y Cristina Stroe, INCDTP, Rumanía

Resumen: El codiseño de los sensores inteligentes y su integración en dispositivos médicos incluye la integración adecuada de los diferentes sensores que contienen microcontroladores, módulos de comunicación y aplicaciones de software adecuadas para el procesamiento de datos con el fin de medir parámetros biomédicos (ritmo respiratorio, presión arterial, pulso, nivel de oxígeno, glucemia), otros biomarcadores que pueden utilizarse para diagnosticar o tratar (por ejemplo, análisis del sudor mediante dispositivos microfluídicos vestibles) diferentes enfermedades, para ayudar a los pacientes en la rehabilitación. La integración de sensores inteligentes portátiles en productos textiles se basa en la flexibilidad y la miniaturización de los sensores. Sin flexibilidad ni miniaturización, estos sensores pueden resultar dañados por las acciones mecánicas que pueden producirse en los textiles, teniendo en cuenta que el textil no es una superficie continua sino discreta.

Introducción

Se han desarrollado numerosas plataformas innovadoras vestibles que integran sensores en tecnología de microfluidos para el análisis del sudor [1] con el fin de evaluar los biomarcadores o actuar como laboratorio bajo la piel, consistentes en microagujas basadas en sistemas multiplexados con sensores transdérmicos para la monitorización de biomarcadores (metabolitos, electrolitos) [2, 3]. Sin embargo, estas técnicas requieren materiales flexibles y transparentes que no pueden integrarse adecuadamente en la superficie textil. La integración de los sensores inteligentes en artículos textiles (calcetines, camisas) para su uso con fines médicos incluye la integración de los sensores flexibles en calcetines [4] mediante cosido o la integración de los sensores inteligentes como ECG, bioimpedancia y aceleración mediante impresión en el textil [5].



Sensores inteligentes para la sanidad

Es deseable acoplar dispositivos médicos vestibles a los textiles para garantizar su autonomía y una monitorización continua. Sin embargo, los sensores analógicos basados en electrodos textiles flexibles (fibras, hilos) pueden integrarse en un textil mediante costura, bordado, tejido, punto o tecnología no tejida. Además, puede utilizarse el recubrimiento de la superficie textil para obtener electrodos superficiales que actúen como electrodos para sensores de presión, temperatura o humedad. Los sensores analógicos generan señales analógicas (por ejemplo, variación de tensión) a partir de una medida física supervisada. Entre los sensores analógicos más utilizados se encuentran los sensores de sonido, los sensores de luz, los sensores de temperatura y los sensores de presión. Un sensor inteligente (digital) contiene varios componentes (figura 1), como un microprocesador, un sensor, tecnología de comunicación inalámbrica (por ejemplo, WiFi, LoRa) y tecnologías de software (ADC, procesamiento de datos), interfaz de usuario a través de agregadores (smartphone, tableta) y genera señales digitales cuando se monitoriza una medida física (por ejemplo, temperatura, presión, humedad). Los sensores inteligentes se utilizan en dispositivos médicos para diagnosticar,

prevenir, monitorizar fisiológicamente, ayudar a la rehabilitación, tratar enfermedades y validar dispositivos médicos.

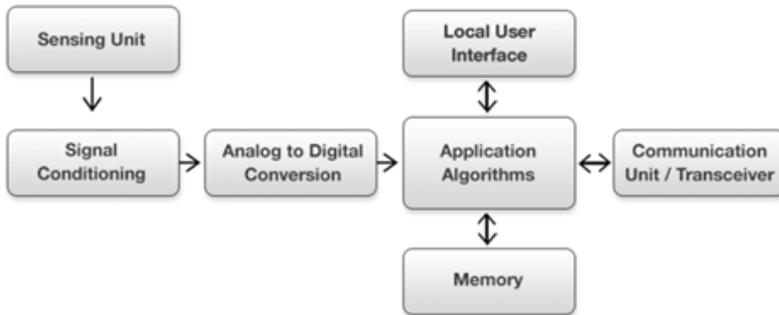


Figura 4.2 Bloques de construcción de sensores inteligentes (Imagen © Premier Farnell Ltd.) [6].

Codiseño de sensores biomédicos inteligentes

El método de codiseño de los sensores biomédicos inteligentes consiste en establecer los objetivos, las especificaciones, las propiedades y las limitaciones de los sensores en el marco de un grupo de trabajo de especialistas con las competencias pertinentes:

- ✓ Usuarios finales (que ofrecen la perspectiva de los pacientes, sus necesidades, los aspectos relacionados con la comodidad y la aceptabilidad del producto);
- ✓ Médicos (que ofrezcan la perspectiva de la atención sanitaria: aspectos relacionados con los parámetros que deben evaluarse, posición de los sensores);
- ✓ Ingenieros con especializaciones (licenciaturas, másteres y doctorados) en textiles (hilado, tejido, punto y prendas textiles) que ofrezcan información sobre el diseño, la fabricación y la normalización de los productos;
- ✓ Ingenieros especializados (licenciatura, máster y doctorado) en electrónica que ofrezcan información sobre diseño, fabricación y normalización de sensores.
- ✓ Ingenieros especializados (licenciados, másteres y doctorados) en informática, que ofrecen información sobre las posibilidades de desarrollar el software adecuado para el hardware propuesto (sensores y microcontroladores).



Además, estas diversas especializaciones y experiencias generan "productos" tangibles, como especificaciones de diseño para sensores inteligentes e integración.

Integración de sensores inteligentes en dispositivos médicos

En función de la flexibilidad y el grado de miniaturización, los sensores inteligentes pueden integrarse en dispositivos médicos.

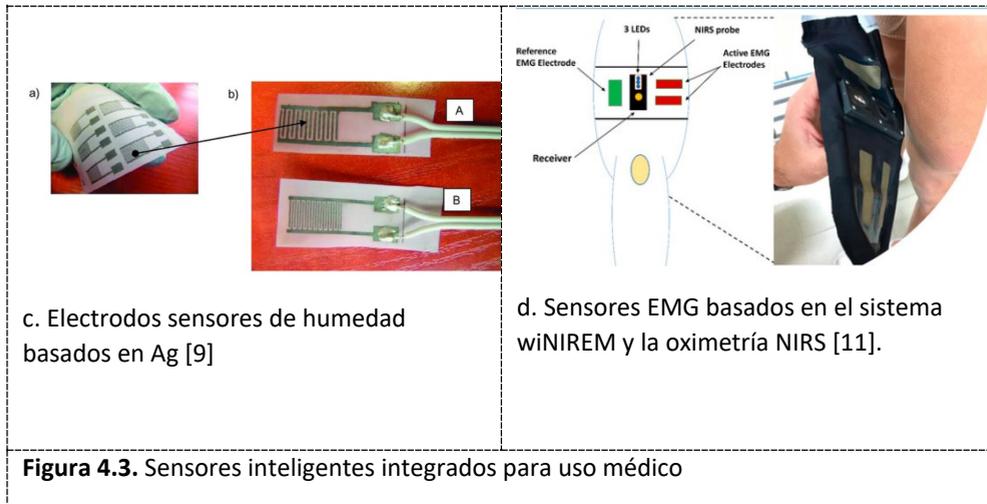
Sensores inteligentes integrados en dispositivos médicos para la monitorización biomédica:

- Sensores de pulso (difíciles de integrar en estructuras textiles) [7, 8];
- Sensores de temperatura (figura 1.3 a.) [7];
- Sensores de humedad (figura 1.3 c) [9];
- Monitorización de la respiración (cinturones de monitorización textil) (figura 1.3 a) [7, 8];
- Monitorización del ECG (con electrodos textiles) (figura 1.3 b.) [10];
- sensores de oximetría para controlar los niveles de oxígeno (figura 1.3 d) [11];
- EMG para monitorizar la actividad muscular (figura 1.3 d) [11];
- sensores de monitorización de la puerta (plantilla inteligente que integra acelerómetros+ giroscopio) [12-16].



a. [Sensores integrados en prendas de punto para controlar la temperatura, la respiración y la frecuencia cardíaca \(e-TECS\)](#) [7].

b. Cinturón Movisens para monitorización de ECG [8]



Conclusiones

El desarrollo de textiles médicos con sensores inteligentes integrados incluye componentes (microcontroladores, módulos de comunicación, aplicaciones de software), procesamiento de señales para medir parámetros biomédicos (ritmo respiratorio, presión sanguínea, pulso, nivel de oxígeno, glucemia) o biomarcadores (por ejemplo, análisis del sudor mediante dispositivos microfluídicos ponibles) y análisis de datos para establecer los buenos patrones de diferentes enfermedades, con el fin de ayudar a los pacientes en la rehabilitación.

La integración de sensores inteligentes portátiles en productos textiles depende de la flexibilidad y la miniaturización de los componentes electrónicos. Si la flexibilidad o la miniaturización son insuficientes, los sensores pueden resultar dañados por acciones mecánicas propias de materiales discretos (textiles).

El método de codiseño de textiles inteligentes que integran sensores biomédicos consiste en la colaboración con distintos grupos (pacientes, personal médico, ingenieros con formación en ciencia de materiales, textil, integración electrónica e informática) para definir los objetivos, las especificaciones del producto y las limitaciones de los sensores integrados.



Referencias

1. Li, S., Ma, Z., Cao, Z., Pan, L. and Shi, Y., 2020. Advanced wearable microfluidic sensors for healthcare monitoring. *Small*, 16(9), p.1903822.
2. Teymourian, H., Tehrani, F., Mahato, K. and Wang, J., 2021. Lab under the skin: microneedle based wearable devices. *Advanced healthcare materials*, 10(17), p.2002255.
3. Gowers, S.A., Freeman, D.M., Rawson, T.M., Rogers, M.L., Wilson, R.C., Holmes, A.H., Cass, A.E. and O'Hare, D., 2019. Development of a minimally invasive microneedle-based sensor for continuous monitoring of β -lactam antibiotic concentrations in vivo. *ACS sensors*, 4(4), pp.1072-1080.
4. Fraunhofer ISC enables wearable technology for technical textiles and medical devices, online available: www.indiantextilemagazine.in/fraunhofer-isc-enables-wearable-technology-for-technical-textiles-and-medical-devices
5. Wearable textile electronics, online available: www.2mel.nl/wearable-textile-electronics
6. Smart sensors – overview and latest technology, online available: at.farnell.com/smart-sensors-overview-and-latest-technology
7. Sensors woven into a shirt can monitor vital signs, online available: news.mit.edu/2020/sensors-monitor-vital-signs-0423
8. Fan, W., He, Q., Meng, K., Tan, X., Zhou, Z., Zhang, G., Yang, J. and Wang, Z.L., 2020. Machine-knitted washable sensor array textile for precise epidermal physiological signal monitoring. *Science advances*, 6(11), p.eaay2840.
9. Weremczuk, J., Tarapata, G. and Jachowicz, R., 2012. Humidity sensor printed on textile with the use of ink-jet technology. *Procedia engineering*, 47, pp.1366-1369.
10. EcgMove 4 – EKG- und Aktivitätssensor, online available: www.movisens.com/de/produkte/ekg-sensor
11. Di Giminiani, R., Cardinale, M., Ferrari, M. and Quaresima, V., 2020. Validation of fabric-based thigh-wearable EMG sensors and oximetry for monitoring quadriceps activity during strength and endurance exercises. *Sensors*, 20(17), p.4664.
12. Xu, W., Huang, M.C., Amini, N., Liu, J.J., He, L. and Sarrafzadeh, M., 2012, June. Smart insole: A wearable system for gait analysis. In *Proceedings of the 5th international conference on pervasive technologies related to assistive environments* (pp. 1-4).
13. Mustufa, Y.A., Barton, J., O'Flynn, B., Davies, R., McCullagh, P. and Zheng, H., 2015, June. Design of a smart insole for ambulatory assessment of gait. In *IEEE 12th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)* (pp. 1-5). IEEE.
14. Roden, T.E., LeGrand, R., Fernandez, R., Brown, J., Deaton, J. and Ross, J., 2014, May. Development of a smart insole tracking system for physical therapy and athletics. In *Proceedings of the 7th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 1-6).
15. Raghav, S., Singh, A., Mani, S., Anand, A., Pathak, S., Kandasamy, G. and Kumar, M., 2023. Role of Sensor-Based Insole as a Rehabilitation Tool in Improving Walking among



- the Patients with Lower Limb Arthroplasty: A Systematic Review. Intelligent Systems and Smart Infrastructure: Proceedings of ICISSI 2022, p.38.
16. da Rosa Tavares, J.E., Ullrich, M., Roth, N., Kluge, F., Eskofier, B.M., Gaßner, H., Klucken, J., Gladow, T., Marxreiter, F., da Costa, C.A. and da Rosa Righi, R., 2023. uTUG: An unsupervised Timed Up and Go test for Parkinson's disease. Biomedical Signal Processing and Control, 81, p.104394.



Capítulo 5 Co-diseño de textiles basados en actuadores para rehabilitación

Md. Reazuddin Repon, Daiva Mikucioniene, Departamento de Ingeniería de Producción, Facultad de Ingeniería Mecánica y Diseño, Universidad Tecnológica de Kaunas, Studentų 56, LT-51424, Kaunas, Lituania.

Resumen:

Las ventajas de los actuadores flexibles son su ligereza, su suavidad y su capacidad para adoptar cualquier forma al tiempo que muestran una deformación significativa en respuesta a estímulos externos. Aunque los conocimientos técnicos que hay detrás de los actuadores flexibles utilizados en los textiles inteligentes aún están en pañales, la capacidad de los textiles basados en actuadores para generar fuerza y cambiar de forma podría dar lugar a algunas funciones nuevas e innovadoras y potenciar su inteligencia. Por el momento, los textiles inteligentes utilizan muy raramente la tecnología de actuadores flexibles. Sin embargo, la combinación de actuadores flexibles y tejidos inteligentes permite concebir toda una serie de aplicaciones. Pueden utilizarse en áreas multidimensionales, incluidas las aplicaciones sanitarias. En este capítulo, se revisa y discute el diseño de textiles basados en actuadores para la rehabilitación. Sin duda, el campo de los textiles inteligentes se verá considerablemente afectado por el uso de los conocimientos sobre actuadores flexibles en los próximos años.

Introducción

Los textiles inteligentes son tejidos que permiten encapsular componentes electrónicos, como microfuentes de alimentación, ordenadores para procesamiento, circuitos interconectados y materiales inteligentes. Los tejidos inteligentes pasivos son los que tienen una función sensora, mientras que los activos son los que tienen una función actuadora, porque perciben un estímulo ambiental y responden a él (Tao 2001). En los textiles inteligentes, la función de los accionadores es responder a la señal enviada por el sensor o la unidad de procesamiento de datos, respectivamente. La reacción puede adoptar la forma de movimiento, ruido o emisión de un material. Se están realizando interesantes investigaciones en el ámbito del funcionamiento mecánico para su uso en tejidos inteligentes. Serán mucho más inteligentes tras ser procesados con accionadores.

Las características fundamentales de los tejidos son su adaptabilidad al cuerpo, su comodidad al tacto, su suavidad y su vestibilidad. Los materiales de accionamiento



tradicionales, como las aleaciones con memoria de forma, los materiales magnetostrictivos y las cerámicas piezoeléctricas, suelen ser rígidos y quebradizos y difíciles de integrar en los tejidos. Un nuevo tipo de material de accionamiento, conocido como actuador flexible, está en auge. Estos materiales son blandos y flexibles y tienen la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, que puede utilizarse para producir una fuerza o un movimiento. En cualquier caso, la tecnología de los actuadores flexibles es un desarrollo relativamente reciente que se está implantando actualmente en diversas aplicaciones textiles. Los actuadores flexibles pueden tejerse en una tela mucho más fácilmente que los actuadores estándar.

En el campo de la electrónica impresa, que evoluciona rápidamente, las técnicas convencionales de serigrafía e impresión digital por chorro de tinta han adquirido una nueva importancia. Las capas de polímeros electroactivos pueden imprimirse en sustratos flexibles como si fueran tintas, además de coserse en un tejido como si fueran parches. La conexión a componentes digitales mediante circuitos impresos flexibles también resulta muy práctica. De momento no hay muchos usos específicos de la tecnología de actuadores flexibles en los tejidos inteligentes. El desarrollo de tejidos inteligentes aún está en pañales. Sin embargo, en este campo hay un gran número de aplicaciones potenciales. El uso de la tecnología de actuadores flexibles en un futuro próximo tendrá sin duda un impacto sustancial en el campo de los tejidos inteligentes.

Accionador y clasificación de los accionadores flexibles

Un accionador es un componente de una máquina o equipo que ayuda a generar fuerza mecánica mediante la conversión de energía, frecuentemente eléctrica, neumática o hidráulica. Es, en pocas palabras, la parte de cualquier máquina que permite el movimiento. Los accionadores son dispositivos que pueden producir

trabajo bajo control. En la figura 1 se indican los distintos tipos de accionadores.

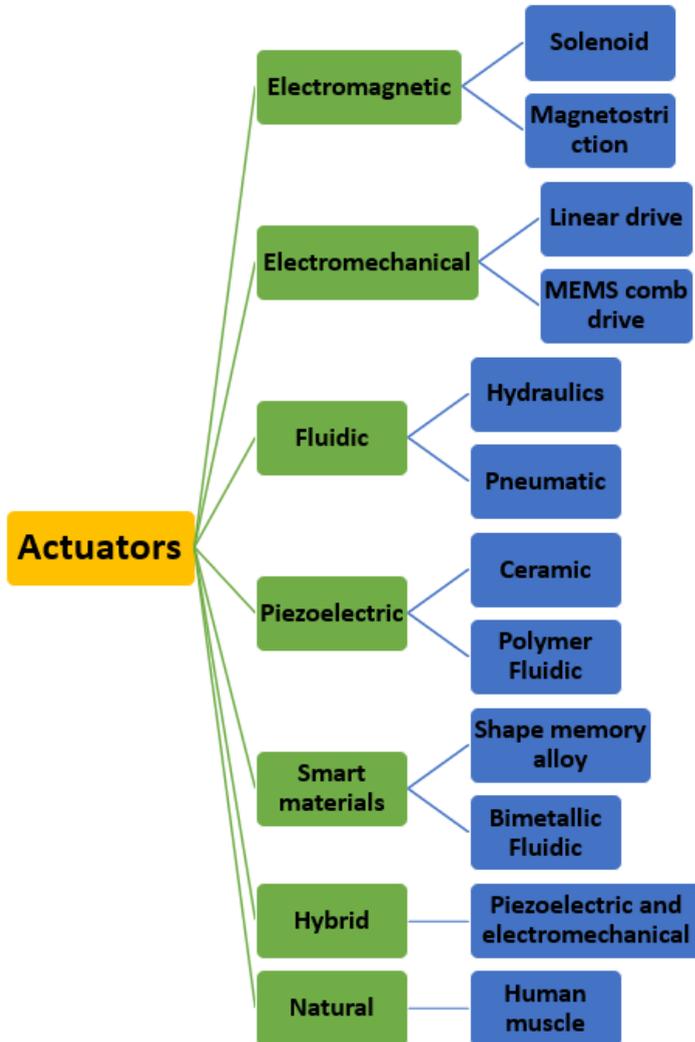


Figura 5.1. Clasificación de accionadores

Aplicación de textiles para rehabilitación basados en actuadores

Los dos objetivos principales de la ropa tradicional son la protección y el atractivo. Y hasta ahora se han añadido a la ropa muchas funciones adicionales, como el calor, la comunicación y la detección mecánica, óptica y química. La respuesta de los accionadores puede adoptar la forma de deformación significativa, movimiento, vibración, fuerza significativa y descarga de material. Normalmente, el término



"actuador flexible convencional" se refiere a los músculos artificiales neumáticos que se han creado para apoyar equipos médicos de rehabilitación. Estos voluminosos e incómodos wearables se asemejan más a dispositivos mecánicos que textiles y tienen un gran volumen. En la actualidad hay pocos ejemplos de textiles inteligentes que se empleen como los accionadores flexibles antes mencionados. Esto se debe principalmente a que, en comparación con los accionadores neumáticos, tienen un bajo rendimiento de actuación. Todavía se están realizando numerosos estudios para mejorar su actividad como accionadores. Además, los actuadores blandos y de tipo película son excelentes candidatos para el procesamiento textil.

El número de ancianos en todo el mundo no ha dejado de aumentar en las últimas décadas. Tanto los países desarrollados como los que están en vías de desarrollo experimentan las mismas tendencias. El envejecimiento provoca una ralentización general de los procesos biológicos. El interés por los temas relacionados ha crecido como consecuencia del aumento de la población de edad avanzada y de la creciente demanda de terapias de rehabilitación. Muchas personas sufren lesiones cerebrales como consecuencia de enfermedades que causan trastornos cognitivos y motores, además de dificultades relacionadas con la edad. Hay un gran número de personas que necesitan cuidados especiales, ya sea para rehabilitación o ayuda.

La mayoría de los tratamientos de rehabilitación consisten principalmente en dos vías. Una es el ejercicio continuado que evita que empeore el estado general de los pacientes crónicos; la otra es el ejercicio continuado para pacientes traumatizados que puede permitirles recuperar total o parcialmente la función muscular. Los sistemas y métodos de rehabilitación pueden variar mucho y hay que adaptarlos. El resultado son unos costes sociales elevados. El uso de equipos robotizados para proporcionar apoyo y llevar a cabo la rehabilitación es una solución concebible. Se han creado actuadores neumáticos para ayudar a los seres humanos utilizando un armazón duro, como un exoesqueleto, o colocando correas en los lugares adecuados. Estas herramientas de rehabilitación tienen las siguientes finalidades basadas en los movimientos o funciones de actuación que realizan los accionadores neumáticos ([1]:

Accionamiento manual: Los músculos neumáticos, que se fijan en el dorso de los dedos, están hechos específicamente para doblar los dedos. Un guante robótico blando con un accionador accionado por fluidos pudo ayudar al movimiento de agarre de la mano. Para crear un movimiento de agarre convencional, se utilizaron

diferentes modos de accionador para el pulgar y los demás dedos (Figura 2a) [2]. En el caso de personas con deficiencias en la mano provocadas por afecciones neurológicas, el sistema de rehabilitación del pulgar robótico blando descrito en un estudio duplica y recupera la función motora adecuada del pulgar (figura 2b) [3]. En la Universidad de Okayama, Sasaki y sus coautores diseñaron un guante de asistencia eléctrica para el agarre de la mano con el fin de mejorar la Actividad de la Vida Diaria (AVD) de forma sencilla y segura. El pulgar oponible se mueve mediante dos músculos neumáticos de tipo lineal situados en la base del pulgar, uno en el dorso de la mano y otro en la palma. Unos músculos neumáticos curvos unidos al dorso de los dedos permiten doblarlos [4].

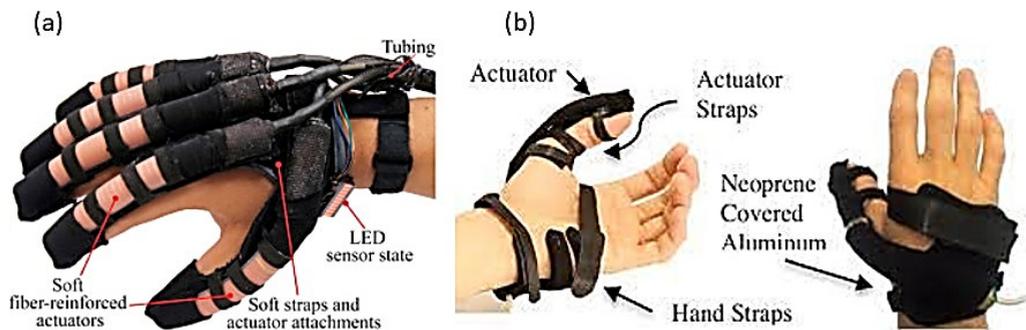


Figura 5.2 (a) Un guante blando hidráulico para asistencia combinada y rehabilitación en casa [2], (b) El accesorio de mano desarrollado con el accionador blando segmentado incorporado[3].

Accionamiento del codo: Los músculos están hechos para ayudar a mover el codo o ayudar a que la articulación recupere su función. Para que el paciente articule correctamente la articulación del codo, se ha propuesto un exoesqueleto de rehabilitación médica que utiliza cables SMA como accionador para el codo. El exoesqueleto propuesto es silencioso y ligero, lo que mejora la capacidad de los pacientes para realizar tareas cotidianas y el proceso de rehabilitación médica [5]. Se propuso un concepto innovador de accionador basado en tejido; consiste en un tubo inflable plegado dentro de una envoltura de tejido. El accionador propuesto funciona bien cuando sostiene pesos; en las pruebas realizadas con un guante ponible y un flexor del tamaño de un codo se utilizaron cargas de 9 kg y 20 kg. Se sugiere utilizar una estructura con curvatura modificable para alterar la forma del accionador cuando se presuriza ([6]. Koh y sus coautores de la Universidad

Nacional de Singapur han diseñado un manguito robótico blando para el codo con accionamiento pasivo y controlado por intención[7].



Figura 5.3 (a) Un exoesqueleto de rehabilitación médica para la correcta articulación de la articulación del codo del paciente [5]; (b) Diseño de la funda robótica blanda para el codo [8]; Configuraciones del brazo durante el uso de la funda robótica blanda para el codo. (c) Configuración flexionada y (d) Configuración extendida [7].

Accionamiento de los miembros superiores: El hombro, el brazo y el antebrazo del dispositivo de asistencia a la movilidad del miembro superior están unidos por dos articulaciones motorizadas [9]. La férula de asistencia eléctrica para la parte superior del brazo, creada por un equipo de investigación de la Universidad de Okayama, acciona las articulaciones de la muñeca y el codo para ayudar al movimiento de la extremidad superior. Un material blando como un guante es insuficiente en esta situación para actuar como interfaz con el paciente. Se necesita una mayor rigidez porque los accionadores transmiten fuerzas más fuertes a las extremidades [10]. El investigador Ciaran, de la Universidad de Harvard, ha desarrollado robots vestibles blandos basados en textiles para la rehabilitación y asistencia de las extremidades superiores [11]. Para empezar, se construyeron actuadores neumáticos textiles desplegados para transferir pares directamente a la articulación de destino, y se utilizaron diversos prototipos físicos para modelar y evaluar los procesos de actuación de los actuadores. Se han investigado varios tipos



distintos de dispositivos de asistencia para las extremidades superiores. Los músculos impulsan el movimiento de la articulación del codo.

Accionamiento del maletero y la cintura: El aparato diseñado para ayudar al movimiento de la cintura está formado por dos piezas rígidas unidas por una bisagra y sujetas a músculos neumáticos de aspecto curvo[12]. El cuerpo humano está equipado con un dispositivo wearable de asistencia eléctrica para ayudar a los músculos a rendir con mayor eficacia. Este dispositivo ayuda en las actividades diarias, la rehabilitación, los trabajos pesados, el entrenamiento y otras tareas [13].

Accionamiento del miembro inferior: Los músculos paralelos utilizados en el miembro inferior activo accionan la articulación de la rodilla. El dispositivo está diseñado para dar más independencia a una persona mayor o discapacitada que puede andar, pero tiene problemas para sentarse y levantarse desde una postura sentada [14]. Los tres principales retos a la hora de diseñar este tipo de dispositivos vestibles son el peso, la potencia y la deformabilidad. Los músculos neumáticos siguen teniendo una gran capacidad y requieren una fuente de gas a presión para ser accionados en un dispositivo wearable. Para cumplir estos objetivos se necesitan accionadores seguros, pequeños, ligeros y ágiles. Para las personas con discapacidad, un dispositivo portátil de rehabilitación debe ser tan básico como la ropa de diario. La opción óptima es un accionador de tipo hoja flexible, como los comentados anteriormente. La Fig. 14 muestra un traje de ayuda a la rehabilitación vestible con actuadores apilados DE dispuestos para diversas actuaciones de ayuda.

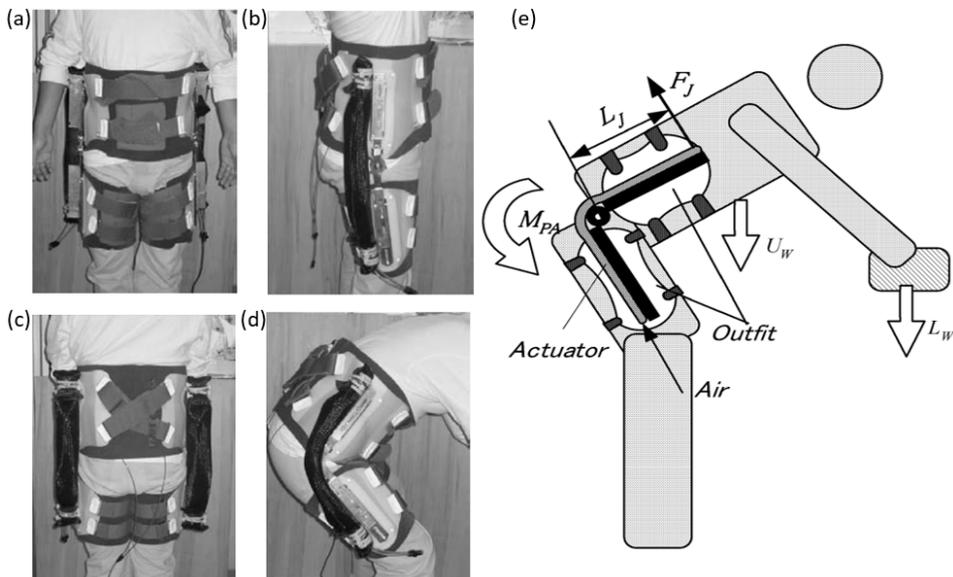




Figura 5.4. (a) parte delantera, (b) flanco (erguido), (c) parte trasera, (d) flanco (anteflexión) y (e) principio de funcionamiento de la cintura asistida [12].

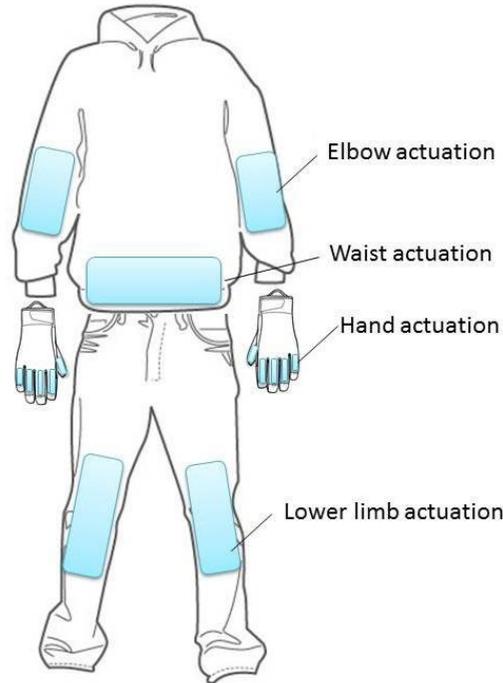


Figura 5.5 : Traje wearable de ayuda a la rehabilitación basado en DE [15].

Conclusiones

En los últimos años ha crecido el desarrollo de textiles con accionadores para su uso en aplicaciones portátiles, sobre todo en rehabilitación. Los accionadores flexibles pueden utilizarse para equipos médicos portátiles y de asistencia sanitaria. Pueden ayudar a fabricar estos aparatos incorporando a las prendas características que resultarán muy útiles para tratamientos de masaje terapéutico, rehabilitación y asistencia. Sin embargo, como es difícil predecir el comportamiento blando y flexible de los textiles, el diseño de estos accionadores textiles suele ser un proceso iterativo. Un textil o una prenda de vestir serán más inteligentes si se incluyen en ellos estas características. Aunque aún queda mucho por hacer y un camino difícil por recorrer, la tecnología de los actuadores flexibles es esencial para hacerlos realidad. Se espera que los futuros textiles inteligentes se beneficien enormemente de algunos de estos actuadores flexibles, que según algunos investigadores podrían asemejarse a los músculos naturales.



Referencias

1. Belforte G, Quaglia G, Testore F, et al (2007) Wearable textiles for rehabilitation of disabled patients using pneumatic systems. In: Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications. pp 221–252
2. Polygerinos P, Wang Z, Galloway KC, et al (2015) Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Rob Auton Syst* 73:135–143. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.08.014>
3. Maeder-York P, Clites T, Boggs E, et al (2014) Biologically inspired soft robot for thumb rehabilitation. *J Med Devices, Trans ASME* 8:2014–2016. <https://doi.org/10.1115/1.4027031>
4. Sasaki D, Noritsugu T, Takaiwa M, Yamamoto H (2004) Wearable power assist device for hand grasping using pneumatic artificial rubber muscle. *Proc - IEEE Int Work Robot Hum Interact Commun* 655–660. <https://doi.org/10.1109/roman.2004.1374840>
5. Copaci D, Cano E, Moreno L, Blanco D (2017) New Design of a Soft Robotics Wearable Elbow Exoskeleton Based on Shape Memory Alloy Wire Actuators. *Appl Bionics Biomech* 2017:. <https://doi.org/10.1155/2017/1605101>
6. Nassour J, Hamker FH, Cheng G (2020) High-Performance Perpendicularly-Enfolded-Textile Actuators for Soft Wearable Robots: Design and Realization. *IEEE Trans Med Robot Bionics* 2:309–319. <https://doi.org/10.1109/TMRB.2020.3012131>
7. Koh TH, Cheng N, Yap HK, Yeow CH (2017) Design of a soft robotic elbow sleeve with passive and intent-controlled actuation. *Front Neurosci* 11:1–12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00597>
8. Thalman CM, Lam QP, Nguyen PH, et al (2018) A Novel Soft Elbow Exosuit to Supplement Bicep Lifting Capacity. *IEEE Int Conf Intell Robot Syst* 6965–6971. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594403>
9. Chakarov D, Veneva I, Tsveov M, Venev P (2018) Powered upper limb orthosis actuation system based on pneumatic artificial muscles. *J Theor Appl Mech* 48:23–36. <https://doi.org/10.2478/jtam-2018-0002>
10. Sasaki D, Noritsugu T, Takaiwa M, Kataoka Y (2005) Development of Pneumatic Wearable Power Assist Device for Human Arm “ASSIST.” In: Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power. pp 202–207
11. O’Neill C (2021) Textile-based Soft Wearable Robots for Upper-Limb Rehabilitation and Assistance. Harvard University
12. Noritsugu T, Gao L (2005) Development of Wearable Waist Power Assist Device Using Curved Pneumatic Artificial Rubber Muscle. *Trans Japan Fluid Power Syst Soc* 36:143–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.5739/jfps.36.143>



13. Noritsugu T (2015) Development of Power Assist Wear driven with Pneumatic Rubber Artificial Muscle. *J Robot Soc Japan* 33:222–227. <https://doi.org/10.7210/jrsj.33.222>
14. Raparelli T, Zobel PB, Durante F (2004) Powered Lower Limb Orthosis for Assisting Standing Up and Sitting Down Movements. In: *Designing a More Inclusive World*. pp 205–214
15. Tao X (2015) *Handbook of smart textiles*. Springer Singapore, Hung Hom, Hong Kong
16. Tao X (2001) *Smart Fibres, Fabrics and Clothing, Fundamentals and Applications*, 1st edn. Woodhead Publishing



Capítulo 6 Dispositivos recolectores basados en electrodos textiles

Aileni Raluca Maria y Cristina Stroe, INCDTP, Rumanía

Resumen: Los dispositivos cosechadores de energía basados en textiles representan una alternativa a la batería clásica de archivo y energía limitados porque pueden obtener energía de distintas fuentes (energía solar, energía cinética, energía térmica, energía química y ondas electromagnéticas). En este capítulo se presentan los principales aspectos de los dispositivos cosechadores de energía vestibles, los materiales textiles utilizados y las tecnologías empleadas para desarrollar cosechadores.

Introducción

Una alternativa a las pilas, cuya capacidad de almacenamiento de energía es limitada, son los dispositivos de recolección, ya que diversas fuentes de energía, como la cinética, la térmica, la electromagnética e incluso la química, se encuentran en cantidades ilimitadas y pueden transformarse en energía eléctrica y almacenarse para garantizar el suministro eléctrico de diversos dispositivos autónomos vestibles. Los principios generales (electromecánico, termoelectrico, electromagnético, piezoeléctrico) son puntos de partida para desarrollar dispositivos de captación. Numerosos estudios investigan la realización de estos dispositivos utilizando materiales textiles a base de fibras/hilos electroconductores o mediante la deposición de películas poliméricas con propiedades magnetoeléctricas (por ejemplo, PVDF).

Tipos de dispositivos de recolección y fabricación

Los dispositivos de captación de energía (EHD) pueden resolver el problema del suministro de energía en el caso de los dispositivos wearables autónomos (actuadores o sensores basados en sistemas wearables). Este suministro independiente de energía es esencial en entornos hostiles o para implantes portátiles (marcapasos), ya que, por ejemplo, la autonomía de las baterías de los marcapasos es de unos 12-13 años. La energía de entrada (térmica, electrostática, mecánica, electromagnética, solar) procedente de diferentes fuentes (calor del cuerpo humano, movimiento del cuerpo humano, medio ambiente, sol, viento)

para ser capturada y convertida en energía eléctrica para alimentar dispositivos autónomos vestibles, requiere el uso de materiales/dispositivos termoeléctricos, piezoeléctricos o triboeléctricos integrados en sistemas vestibles. Un sistema de recolección neumática puede recuperar una potencia máxima de 3 W y superar en un 20% la eficiencia energética de la conversión electromagnética, piezoeléctrica y triboeléctrica. Los cosechadores consisten en materiales/sistemas (por ejemplo, microcable textil para cosechar simultáneamente energía solar y mecánica) que pueden convertir otro tipo de energía (mecánica, lumínica, térmica, etc.) en energía eléctrica)

La inducción electrostática y el efecto triboeléctrico generan pequeñas cantidades de energía a partir del movimiento mecánico. En la figura 1.1. se presenta el nanogenerador triboeléctrico 3D de tejido entrelazado de doble cara (3DFIF-TENG) basado en tejido de punto entrelazado que puede producir electricidad doblando y estirando el tejido [1].

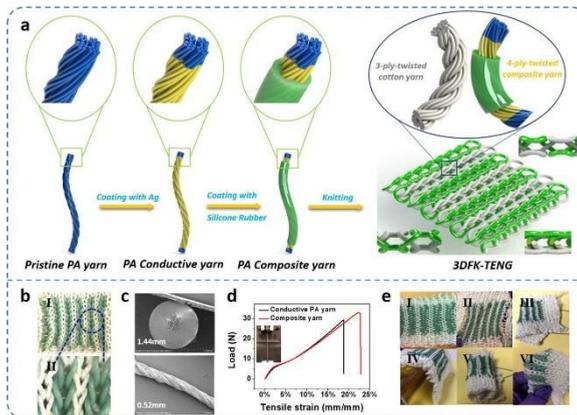


Figura 6.1 Proceso de fabricación y comportamiento mecánico del nanogenerador triboeléctrico 3DFIF-TENG [1].

- ✓ La generación de corriente continua (CC) a partir de señales inalámbricas ambientales puede lograrse utilizando materiales textiles conductores y dieléctricos (fibras, hilos) procesados por hilado, tejido, punto, bordado y deposición de tintas conductoras sobre materiales aislantes, antenas de parche para la recolección de energía se pueden hacer aplicaciones [2]. Además, la obtención de corriente eléctrica a partir de ondas electromagnéticas (RF) se puede lograr mediante el uso de una antena de parche y un rectificador fabricado mediante el bordado de hilo conductor en los sustratos aislantes textiles [3].

- ✓ La generación de electricidad a partir de energía térmica puede lograrse utilizando materiales tipo p y tipo n basados en hilos de plata e hilos textiles funcionalizados mediante la deposición de polímeros conductores (PEDOT: PSS) y cosido/bordado para fabricar generadores textiles termoeléctricos [4, 5] (figura 2).

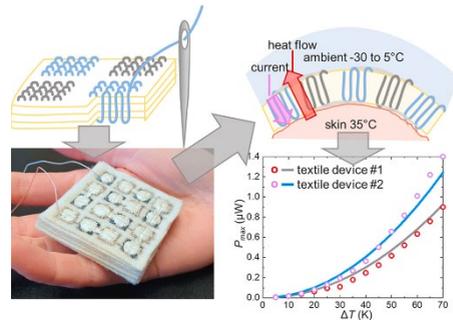


Figura 6.2 Materiales utilizados en nuestro textil termoeléctrico [4]

Con el fin de ser utilizados para alimentar dispositivos vestibles, los recolectores [6] (Tabla 1) deben transformar los diferentes tipos de energía (térmica, mecánica, RF y solar) en electricidad basándose en diferentes efectos (Seebeck, recolección de energía EM, Piezoeléctrica, Fotoeléctrica).

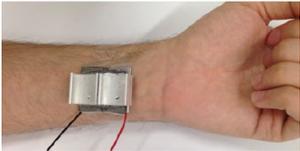
Conclusiones

El uso de textiles para dispositivos de captación de energía representa un reto para los investigadores, que deben sustituir la clásica pila de duración y energía limitadas por energía obtenida mediante la conversión de distintos tipos de energía (energía solar, cinética, térmica, química y ondas electromagnéticas).

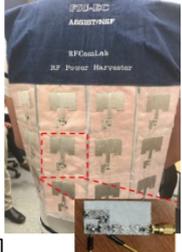
Los cosechadores transforman los diferentes tipos de energía (térmica, mecánica, RF y solar) en electricidad basándose en diferentes efectos (Seebeck, EM energy harvesting, Piezoeléctrico, Fotoeléctrico).

En el caso de la pequeña electrónica (sensores y actuadores basados en sistemas), los dispositivos wearables de captación de energía (EHD) pueden resolver el problema del suministro energético.

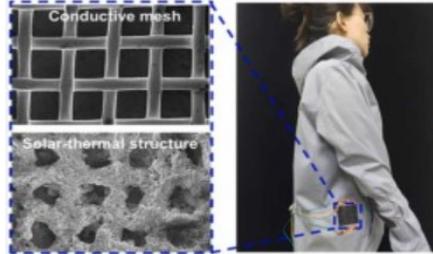
Tabla 6.1 Tipo de cosechadora

Tipo de cosechadora	Efecto	Energía de entrada	Fuente de energía	Tipo de dispositivo wearable e integración	Dominio*	Ejemplo
Termoeléctrica (TEG)	Seebeck	Térmica	Calor humano	Sistema en chip (SoC); Muñeca [7] 	M, P, A, S	Transformar el calor en electricidad
Piezoeléctrica (PE)	Piezoeléctrico	Mecánica	Movimiento humano	Cosechadora basada en el sistema neumático [8] 	M, P, A, S	Fibra piezoeléctrica para textiles sensibles al movimiento Recolector de energía neumática basado en textiles Nanogeneradores triboeléctricos basados en fibras



Radiofrecuencia (RF)	Captura de energía en bandas de RF (GSM (900 MHz); WiFi, ISM (2,4 GHz)	Electromagnética	Entorno	 <p>Camiseta RF para llevar puesta[9]</p>	M, P, A, S	



Solar	Fotoeléctrico	Solar	Entorno	Captadores solares portátiles integrados en una chaqueta [10]. 	M, P, A, S	Energía fotovoltaica a partir de textiles
Nanogenerador híbrido	Fotoeléctrico y Piezoeléctrico	Mecánica y Solar	Calor humano y Entorno	Chaqueta con generador solar y piezoeléctrico [10] 	M, P, A, S	Accionador de hilo trenzado



Referencias

1. Chen, C., Chen, L., Wu, Z., Guo, H., Yu, W., Du, Z. and Wang, Z.L., 2020. 3D double-faced interlock fabric triboelectric nanogenerator for bio-motion energy harvesting and as self-powered stretching and 3D tactile sensors. *Materials Today*, 32, pp.84-93.
2. Yamada, Y., 2022. Textile Materials for Wireless Energy Harvesting. *Electronic Materials*, 3(4), pp.301-331.
3. Vital, D., Bhardwaj, S. and Volakis, J.L., 2019. Textile-based large area RF-power harvesting system for wearable applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 68(3), pp.2323-2331.
4. Lund, A., Tian, Y., Darabi, S. and Müller, C., 2020. A polymer-based textile thermoelectric generator for wearable energy harvesting. *Journal of Power Sources*, 480, p.228836.
5. Tian, Z., Lee, S. and Chen, G., 2014. Comprehensive review of heat transfer in thermoelectric materials and devices. *Annual review of heat transfer*, 17.
6. Hudak, N.S. and Amatucci, G.G., 2008. Small-scale energy harvesting through thermoelectric, vibration, and radiofrequency power conversion. *Journal of Applied Physics*, 103(10), p.5.
7. Alhawari, M., Mohammad, B., Saleh, H. and Ismail, M., 2018. Energy harvesting for self-powered wearable devices. Springer International Publishing.
8. Shveda, R.A., Rajappan, A., Yap, T.F., Liu, Z., Bell, M.D., Jumet, B., Sanchez, V. and Preston, D.J., 2022. A wearable textile-based pneumatic energy harvesting system for assistive robotics. *Science Advances*, 8(34), p.eabo2418.
9. Radio Frequency Harvesting, online available: assistcenter.org/radio-frequency-rf-harvesting
10. Chen, J., Huang, Y., Zhang, N., Zou, H., Liu, R., Tao, C., Fan, X. and Wang, Z.L., 2016. Micro-cable structured textile for simultaneously harvesting solar and mechanical energy. *Nature Energy*, 1(10), pp.1-8.



Capítulo 7 Requisitos de los usuarios finales y perspectiva en la selección de productos inteligentes

Md. Reazuddin Repon, Daiva Mikucioniene, Departamento de Ingeniería de Producción, Universidad Tecnológica de Kaunas, Studentų 56, LT-51424, Kaunas, Lituania.

Resumen:

La economía mundial y las exigencias del mercado han evolucionado rápidamente en los últimos años, y la demanda de productos inteligentes va en aumento. Gracias a los recientes avances técnicos se han diseñado productos inteligentes con nuevas prestaciones. Sin embargo, la producción de productos inteligentes requiere ajustes significativos en los procedimientos de desarrollo de productos, que han experimentado numerosos avances en los últimos años en términos de teoría, metodologías y enfoques. Los productos inteligentes pueden recoger, procesar y entregar la información. En este capítulo se analizan los requisitos y la perspectiva del usuario final a la hora de seleccionar los productos inteligentes.

Introducción

El "producto inteligente" ha ganado popularidad en los últimos 10 años entre expertos en tecnología y académicos. A principios de la década, los productos inteligentes se utilizaban sobre todo para promocionar tecnología punta en ferias comerciales. Pero gracias a los avances tecnológicos, los productos inteligentes ya son una realidad y, en algunos casos, ya han contribuido a perturbar los negocios establecidos en el inicio de una nueva era marcada por el Internet de las Cosas (IoT) y el marketing y la innovación tecnologizados [1],[2] [3]. Los sistemas ciberfísicos (CPS) que también emplean e integran servicios basados en Internet para llevar a cabo una funcionalidad necesaria se denominan productos inteligentes [4];[5]. Los SPI se describen como dispositivos o sistemas mecatrónicos "inteligentes" que



pueden interactuar y comunicarse con otros SPI a través de diversos canales de comunicación, como la LAN inalámbrica o Internet ;[6],[5].

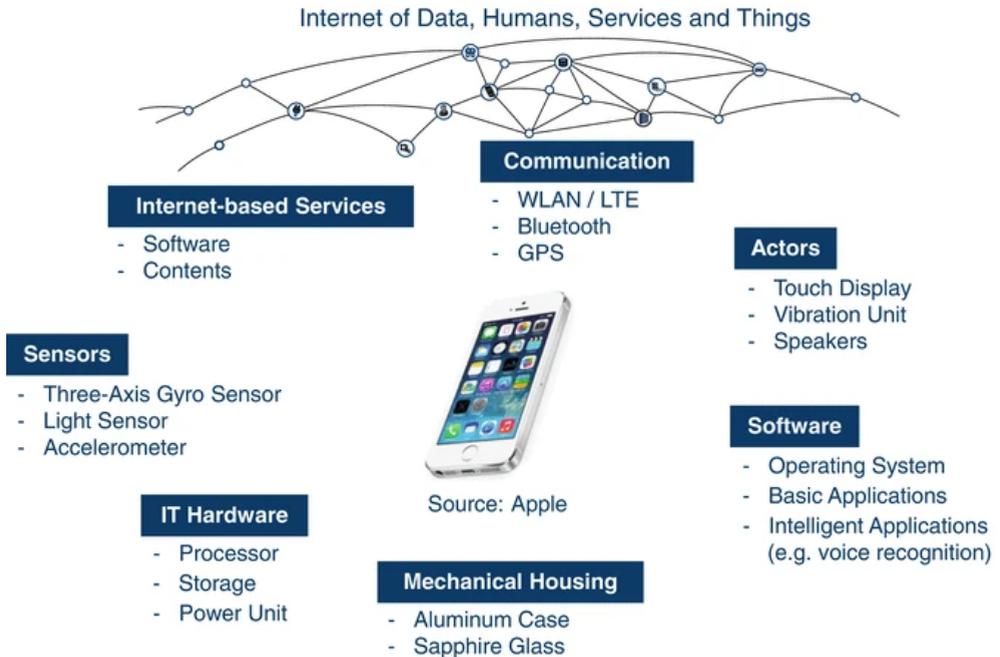
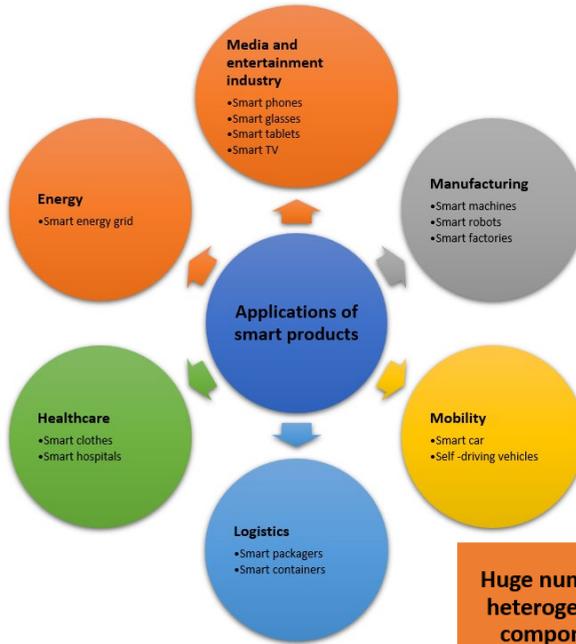


Figura 7.1. Elementos esenciales de un producto inteligente a partir del ejemplo de un smartphone [5].

Los productos inteligentes disuelven componentes físicos y virtuales, así como productos y servicios basados en Internet. La figura 1 ilustra los elementos esenciales de un producto inteligente utilizando el ejemplo del producto inteligente más conocido, el smartphone. La figura 2 ilustra las aplicaciones y características principales de los productos inteligentes [5], [7].



(a)



(b)

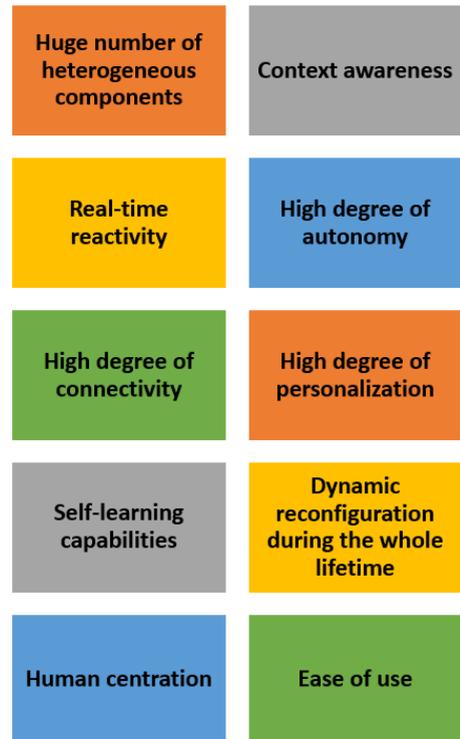


Figura 7.2. Aplicaciones (a) y principales características (b) de los productos inteligentes.



Requisitos del usuario final y perspectiva de los productos inteligentes

Los productos inteligentes se diferencian de los productos ordinarios en que comparten algunas aptitudes funcionales. Entre ellas están la autonomía, la fiabilidad y la individualización, así como las interacciones inteligentes con los usuarios humanos. Estas capacidades funcionales son el resultado de una serie de propiedades técnicas, como la resistencia, la inteligencia y la conectividad, apoyadas por la detección y la reconfigurabilidad. Una de las características clave de los productos inteligentes es su inteligencia, que engloba capacidades como el reconocimiento (voz, visión, lenguaje, etc.), el razonamiento y el aprendizaje. Las interacciones inteligentes con el usuario son el primer significado del término "inteligente" en relación con los productos. El segundo componente es lo que se denomina control inteligente, que va más allá del control de retroalimentación convencional. En tercer lugar, otros rasgos, como la autonomía y la reconfigurabilidad, se benefician de la inteligencia [8], [9].

Los productos inteligentes deben tener sensores inteligentes y capacidades de detección. Los productos inteligentes pueden percibir estímulos externos y acumular la información a través del sensor. Los datos recogidos pueden utilizarse para fines a corto y largo plazo. Los sensores de identificación por radiofrecuencia y los chips IoT lo permiten ampliamente [10], [11], [12], [13].

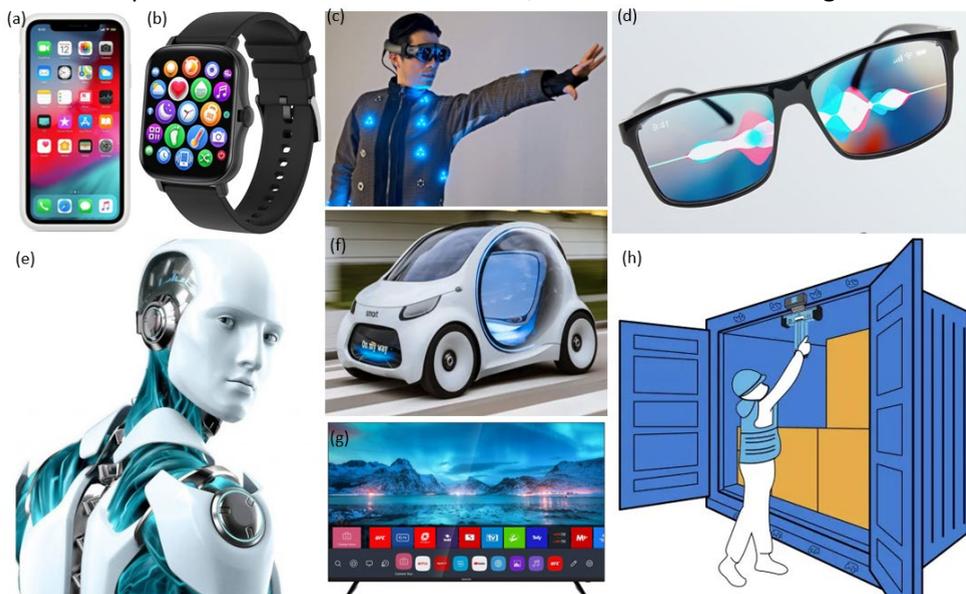
Los modos de interacción verbal, visual y táctil, entre otros, son necesarios para las interacciones humanas inteligentes. Sin embargo, debe entenderse que el mejor producto inteligente es aquel que se comunica con los usuarios de forma muy inteligente y requiere al mismo tiempo la mínima interacción humana. La interfaz de usuario de la pantalla táctil permite la comunicación bidireccional, pero no la tradicional [8], [9].

Los sistemas producto-servicio deben incluirse en los productos inteligentes. Mediante el uso de sensores, recogen datos operativos y los utilizan mejor para el mantenimiento y la gestión del ciclo de vida. Para los vehículos inteligentes utilizados para servicios MaaS autónomos, este tipo de características pueden ser esenciales. Desde el punto de vista técnico, esto indica que se requiere una fiabilidad y una fiabilidad sustancialmente mayores. Las nuevas técnicas de prestación de servicios, como la supervisión continua de la salud en tiempo real, el mantenimiento proactivo y el mantenimiento predictivo, son más rápidas y eficientes [14], [15].



Todas las características de los productos inteligentes se construyen sobre la base de la conectividad con otros agentes en Internet. Esto hará posible la recopilación de datos, pero también facilitará la autoidentificación y la determinación de la ubicación. Los límites de la comunicación inalámbrica se están ampliando hasta 5G y más allá gracias a los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica [16]. Muchas aplicaciones también tendrán la oportunidad de pasar de la computación local a la computación en la nube, la computación en los bordes o la computación en la niebla. Si el ecosistema de productos inteligentes está realmente centrado en los datos o impulsado por ellos, se requiere una conexión de alta velocidad [17].

Los productos inteligentes deben poseer un alto grado de autonomía. En varias disciplinas crece el interés por la autonomía. Los sistemas autónomos tienen la capacidad de percibir información del exterior, tomar decisiones inteligentes sin



ayuda humana y emprender las acciones adecuadas [18]. Con frecuencia, un dron o un submarino robótico de aguas profundas son capaces de volar o nadar por sí mismos sin necesidad de utilizar un mando a distancia. No deben herir a ninguna parte externa ni desorientarse mientras llevan a cabo su misión. Un sistema autónomo también puede mostrar un comportamiento no determinista gracias al autoaprendizaje. Un producto modular que se configura a sí mismo después de ensamblar los módulos es un ejemplo de autoaprendizaje autónomo [19], [2], [20].



Figura 7.3. Algunos ejemplos de productos inteligentes: teléfono inteligente (a) [21]; reloj inteligente (b) [22]; ropa inteligente (f) [23]; gafas inteligentes (g) [24]; robot inteligente (d) [25]; coche inteligente autoconducido (e) [26]); televisor inteligente (c) [27]) y contenedor inteligente (h) [28].

La adaptación, individualización o personalización son esenciales para proporcionar al cliente un valor añadido. La reconfigurabilidad podría utilizarse para facilitar la adaptación, individualización o personalización de los productos inteligentes con el fin de satisfacer los requisitos explícitos o implícitos del usuario [29], [30]; [31]. La reconfiguración de los productos inteligentes puede producirse en cualquier momento de su vida útil. A diferencia de la reconfiguración en tiempo de ejecución, que puede adoptar cualquier forma de control para adaptar la máquina a entornos externos cambiantes y a circunstancias internas que empeoran, la reconfiguración en tiempo de diseño implica cambiar el diseño de la máquina para adaptar un modelo antiguo a los nuevos requisitos del usuario [32], [4], [32].

Los productos inteligentes tienen el potencial de ofrecer un mejor rendimiento en términos de mantenibilidad, tratamiento al final de la vida útil y consumo de energía mediante la monitorización del estado y las características ambientales y el posterior análisis de los datos recogidos utilizando la analítica de datos. Esto podría ayudar a promover la sostenibilidad. La figura 3 muestra algunos ejemplos de productos inteligentes disponibles en el mercado.

Conclusiones

La definición de productos inteligentes, es decir, SPI con servicios al cliente incorporados basados en Internet, es cada vez más específica. Esto significa que deben ser intensivos en software, basados en datos y multidisciplinares. Pero crear dispositivos inteligentes implica algo más que añadir más capacidades relacionadas con el software. En comparación con el desarrollo de generaciones anteriores, es muy diferente. Los servicios inteligentes añaden valor a los productos inteligentes, aumentando el valor de las experiencias de los usuarios. En este capítulo se ha ofrecido una rápida visión general de varios productos inteligentes, para pasar después a hablar de las características comunes y los requisitos del usuario final.



Referencias

1. Ng ICL, Wakenshaw SYL (2017) The Internet-of-Things: Review and research directions. *Int J Res Mark* 34:3–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2016.11.003>
2. Tomiyama T, Lutters E, Stark R, Abramovici M (2019) Development capabilities for smart products. *CIRP Ann* 68:727–750. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.05.010>
3. Li CZ, Chen Z, Xue F, et al (2021) A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. *J Clean Prod* 286:125391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125391>
4. Abramovici M, Göbel JC, Savarino P (2017) Reconfiguration of smart products during their use phase based on virtual product twins. *CIRP Ann - Manuf Technol* 66:165–168. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.042>
5. Zheng P, Wang Z, Chen CH, Pheng Khoo L (2019) A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Adv Eng Informatics* 42:100973. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100973>
6. Abramovici M (2015) Smart Products. In: Chatti S, Tolio T (eds) *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 1-5
7. Shao S, Xu G, Li M (2019) The design of an IoT-based route optimization system: A smart product-service system (SPSS) approach. *Adv Eng Informatics* 42:101006. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.101006>
8. Nee AYC, Ong SK, Chryssolouris G, Mourtzis D (2012) Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Ann - Manuf Technol* 61:657–679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
9. Choi S, Jung K, Noh S Do (2015) Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions. *Concurr Eng Res Appl* 23:40–63. <https://doi.org/10.1177/1063293X14568814>
10. Teti R, Jemielniak K, O'Donnell G, Dornfeld D (2010) Advanced monitoring of machining operations. *CIRP Ann - Manuf Technol* 59:717–739. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.010>
11. Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M (2013) Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Futur Gener Comput Syst* 29:1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
12. Ungurean I, Gaitan NC, Gaitan VG (2014) An IoT architecture for things from industrial environment. *IEEE Int Conf Commun*. <https://doi.org/10.1109/ICComm.2014.6866713>
13. Yasuura, Hiroto Kyung, Chong-Min Liu, Yongpan Lin Y-L (2017) *Smart Sensors at the IoT Frontier*. Springer Cham
14. Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman ST (2017) Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering* 3:616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>



15. Liu Y, Zhang Y, Ren S, et al (2020) How can smart technologies contribute to sustainable product lifecycle management? *J Clean Prod* 249:119423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119423>
16. Palattella MR, Dohler M, Grieco A, et al (2016) Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models. *IEEE J Sel Areas Commun* 34:510–527. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2525418>
17. Agiwal M, Roy A, Saxena N (2016) Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Commun Surv Tutor* 18:1617–1655. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2532458>
18. Lucia-Palacios L, Pérez-López R (2021) How can autonomy improve consumer experience when interacting with smart products? *J Res Interact Mark*. <https://doi.org/10.1108/JRIM-02-2021-0031>
19. Zhang EM (2010) Understanding the Acceptance of Mobile SMS Advertising among Young Chinese Consumers. *Psychol Mark* 30:461–469. <https://doi.org/10.1002/mar>
20. Raff S, Wentzel D, Obwegeser N (2020) Smart Products: Conceptual Review, Synthesis, and Research Directions. *J Prod Innov Manag* 37:379–404. <https://doi.org/10.1111/jpim.12544>
21. Apple iPhone (2019) <https://istore.it/apple-iphone-xr-smart-battery-deklas-white.html>
22. Smartwatch (2022) <https://www.yescart.com/hifuture-futurefit-ultra-smart-watch>
23. Iwano M (2020) <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/From-gamers-to-dogs-Japan-forges-ahead-in-smart-clothing>
24. Appleglass (2022) <https://www.nextpit.com/device/apple-glass>
25. smart robots (2016) <https://internetofbusiness.com/eu-vote-manufacturing-robots/>
26. Zac Estrada (2017) <https://www.theverge.com/2017/8/30/16226514/smart-vision-eq-electric-future-car2go>
27. Sencor (2022) <https://www.sencor.com/smart-uhd-television/sle-55us800tcsb>
28. Reidy S (2020) <https://arviem.com/a-smart-container-or-smart-device-for-containers-what-fulfill-your-organizations-need-for-real-time-cargo-monitoring/>
29. Tseng MM, Jiao RJ, Wang C (2010) Design for mass personalization. *CIRP Ann - Manuf Technol* 59:175–178. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.097>
30. Zawadzki P, Zywicki K (2016) Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. *Manag Prod Eng Rev* 7:105–112. <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0030>
31. Huikkola T, Kohtamäki M, Ylimäki J (2022) Becoming a smart solution provider: Reconfiguring a product manufacturer's strategic capabilities and processes to facilitate business model innovation. *Technovation*. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102498>
32. Basten, Twan Hamberg, Roelof Reckers, Frans Verriet J (2013) *Model-Based Design of Adaptive Embedded Systems*. Springer New York



33. Savarino P, Abramovici M, Göbel JC, Gebus P (2018) Design for reconfiguration as fundamental aspect of smart products. *Procedia CIRP* 70:374–379.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.01.007>



CAPÍTULO 8 Factores que influyen en la usabilidad y aceptabilidad de los componentes electrónicos integrados en productos textiles

David Gómez, AEI Tèxtils, Desarrollo Corporativo, Terrassa, Barcelona.

Introducción

Un textil inteligente es un material textil funcional, que reacciona activamente con su entorno y responde activa y automáticamente a las entradas obtenidas del medio ambiente. Estos textiles reaccionan a estímulos externos (luz, temperatura, humedad, presión, etc.) y pueden comunicarse con otros dispositivos, conducir energía, transformarse en otros materiales y proteger al usuario de riesgos ambientales.

Los textiles inteligentes aportan funciones a los productos finales y se utilizan en sectores de alto valor añadido como la industria sanitaria y médica; la automoción y la aeronáutica; los equipos de protección individual; el deporte; la construcción; y el diseño de interiores, entre otros muchos sectores.

Los componentes electrónicos integrados en productos textiles abren un abanico de infinitas aplicabilidades en muchos campos, teniendo un enorme potencial para hacer nuestra vida mejor y más fácil. Mientras algunos han incrustado dispositivos electrónicos en el tejido, otros han estratificado la electrónica conductora en los textiles, como veremos en el prototipo que se muestra a continuación.

Los textiles inteligentes son un producto relativamente nuevo en la industria textil. Aunque estos textiles tienen un futuro prometedor, no están exentos de desafíos. Integrar materiales electrónicos en el hilo central de los textiles inteligentes es técnicamente muy complicado y aún hay que investigar. Es posible que muchas empresas no dispongan de la infraestructura necesaria para fabricar estos textiles y tengan que reprogramar sus procesos de producción. Los elevados costes de producción son probablemente una barrera de entrada para muchas pequeñas y medianas empresas.

El ámbito de los textiles inteligentes que aquí se aborda se refiere a los productos basados en textiles con componentes electrónicos incorporados, ya sean hilos



conductores o sensores. Este tipo de productos son importantes y representan una oportunidad para que el sector textil evolucione y entre en el ámbito de los productos inteligentes.

Existen ejemplos de productos textiles inteligentes, muchos de ellos todavía en forma de prototipo o prototipo avanzado. Por ejemplo, un uniforme de bombero equipado con un sensor de latidos que puede enviar estos datos a distancia, o un trabajador con un traje que puede detectar malas posturas emitiendo una señal de alerta. Lo importante en estos ejemplos es el servicio de valor añadido que puede complementar al producto, que en muchos casos puede ser la base de un nuevo modelo de negocio.

Esta es la oportunidad para que el sector textil y de la confección se expanda a otras áreas de negocio, y para atraer a personas con habilidades y competencias diferentes, como la electrónica y la programación.

Factores que influyen en la usabilidad y aceptabilidad de los componentes electrónicos integrados en productos textiles

El *Smart-horse-riding* es un buen ejemplo de los factores que influyen en la usabilidad y aceptabilidad de los componentes electrónicos integrados en productos textiles.

El producto encaja en la estrategia de la cartera de productos POLISILK de diversificación del uso final del tejido hacia productos de mayor valor añadido que integren electrónica flexible.

Esta innovadora iniciativa consiste en una media almohadilla inteligente para el mercado de la doma (una disciplina ecuestre). Este nuevo producto integra electrónica flexible a través de hilos conductores impresos y sensores de presión dentro de la almohadilla (manta colocada entre el caballo y la silla de montar). Una



aplicación virtual también de nueva creación monitoriza los distintos puntos de presión generados por el jinete.



Figura 8. 1 – El producto Smart-horse-riding

A continuación, nos gustaría destacar la propuesta de valor del *Smart-horse-riding*:

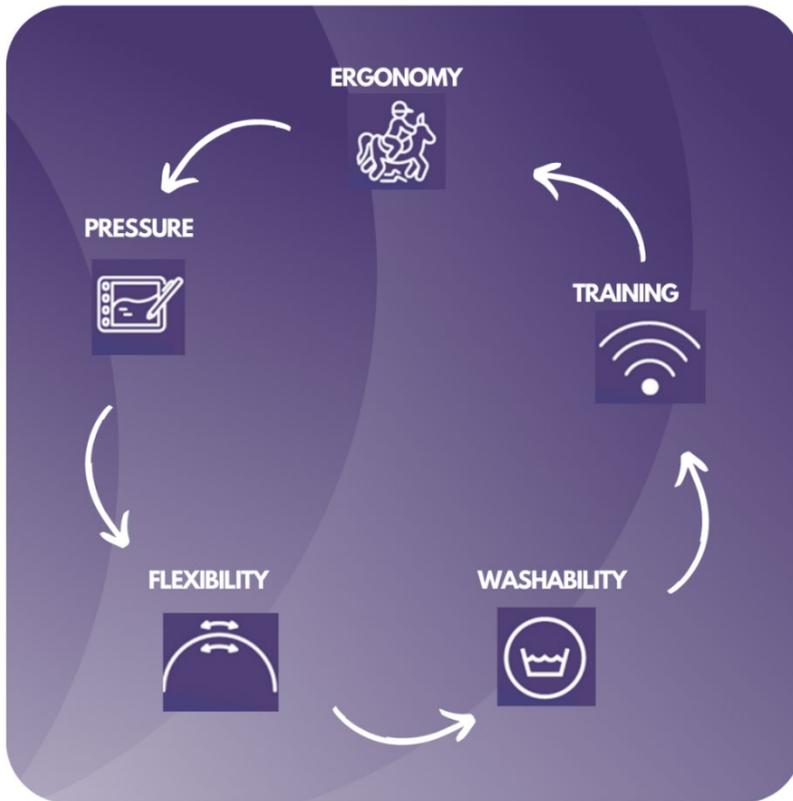


Figura 8.2 – Fases del Smart-horse-riding

1. Su forma **ergonómica** ayuda a evitar lesiones en el dorso del caballo y en el jinete debidas a un ajuste inadecuado de la silla.
2. Gracias a su conectividad Wi-fi, el smart-horse-riding envía en tiempo real datos recogidos por el entrenador que mejoran el rendimiento durante el **entrenamiento**.
3. **Lavabilidad**: Tejidos protectores de alta resistencia que se pueden quitar y lavar en lavadora.



4. Al ser una media almohadilla flexible, es una alternativa específica que proporciona una elongación del 10% de la media almohadilla evitando que los sensores se dañen. También permite la dinámica de monta, así como una mayor **durabilidad**.

5. Dispone de mapas de presión muy precisos. Gracias a su elevado número de sensores (+500) que descubren los puntos de presión excesiva, es muy óptimo para el entrenamiento y la prevención de lesiones del caballo y del jinete.

Conclusiones

El prototipo *Smart-horse-riding* nos ha mostrado cómo se implementan los hilos conductores para la integración de sensores y otros dispositivos electrónicos que integran tejidos textiles. Es un buen ejemplo para ver cómo los componentes electrónicos integrados en productos textiles abren un amplio abanico de usos en muchos campos.

Se trata de una media almohadilla inteligente para el mercado de la doma clásica. Este avanzado prototipo integra electrónica flexible a través de hilos conductores impresos y sensores de presión dentro de una media almohadilla y los diferentes puntos de presión generados por la posición del jinete sobre el caballo se visualizan a través de una app personalizada desarrollada durante la fase de prototipo. La equitación inteligente ofrece una propuesta de alto valor, como se ha mencionado anteriormente, tanto para el caballo como para el jinete.

Referencias

1. Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 6th 2022. Available online: <https://smartees.eu/smartees2-application-experiments/>



2. Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), "POLISILK presents its first SMART-HORSE-RIDING prototype", September 6th 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/polisilk-presents-its-first-smart-horse-riding-prototype-4/>

3. Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), "CONTEXT organizes a webinar to present funding opportunities and success stories for the development of smart textiles", September 6th 2022. Available online: <https://www.context-cost.eu/2021/04/06/context-organizes-a-webinar-to-present-funding-opportunities-and-success-stories-for-the-development-of-smart-textiles/>



Capítulo 9 Confort sensorial inteligente: análisis objetivo y subjetivo de los textiles inteligentes

Md. Reazuddin Repon, Daiva Mikucioniene, Universidad Tecnológica de Kaunas, Studentų 56, LT-51424, Kaunas, Lituania.

Resumen:

La comodidad es una característica esencial de los tejidos inteligentes para maximizar su eficacia práctica. El uso de tejidos inteligentes se ha disparado gracias al avance de la funcionalidad electrónica para diversas aplicaciones. Sin embargo, los textiles inteligentes siguen planteando problemas de comodidad durante su uso. Una prenda cómoda es un requisito básico para los artículos textiles que entran en contacto íntimo con la piel. En este capítulo se ofrece un breve resumen de los análisis subjetivos y objetivos utilizados para evaluar la comodidad sensorial de los textiles inteligentes. Se ha expuesto la motivación por la que se requiere una evaluación sensorial de los textiles inteligentes.

Introducción

La ropa es una de las necesidades fundamentales que todo el mundo necesita para cubrir su cuerpo y protegerlo de factores ambientales adversos como el clima. Aunque la ropa actual funciona como protección, añade funcionalidades adicionales y se utiliza para controlar la salud, como apoyo en eventos deportivos y como canal de comunicación debido a las diversas demandas del ser humano [1], [2]. Los textiles inteligentes están creciendo rápidamente y las demandas son cada vez mayores, pero también hay insatisfacción con su uso debido a su gran peso y a su naturaleza rígida. Se pueden presionar sobre el cuerpo y tienen rebordes, lo que puede resultar incómodo. Los textiles inteligentes tienen la capacidad de alterar su comportamiento habitual en respuesta a señales ambientales, como características periféricas o estímulos técnicos [3].

La alteración puede estar influida por fuentes mecánicas, térmicas, eléctricas, químicas u otras fuentes externas. Aunque han avanzado mucho más allá de sus inicios, la electrónica de consumo vestible está aún muy en pañales. Una de las causas pueden ser los problemas de comodidad en varios aspectos. Sin embargo, a diferencia de la investigación sobre la innovación y la promoción de la tecnología ponible, el campo de la investigación sobre la evaluación de la comodidad de los textiles inteligentes no se está expandiendo tan rápidamente. La mayor parte de la investigación en electrónica para llevar puesta se concentra en determinados



temas, como los sensores, los actuadores y las plataformas para compartir historiales médicos electrónicos. El usuario se preocupa más por las ventajas de los textiles inteligentes que por la comodidad de uso [4].

La característica más importante de los materiales que entran en contacto directo con la piel es la comodidad. Hay tres tipos de comodidad en la ropa: sensorial, psicológica y termofisiológica. Mientras que el confort psicológico consiste en estar en paz con uno mismo, el confort termofisiológico tiene que ver con el equilibrio térmico del cuerpo a lo largo de distintos niveles de esfuerzo. La capacidad de un tejido para soportar las sensaciones de tacto, humedad, presión y calor se conoce como confort sensorial [5] [6]. Si el proceso de fabricación de los tejidos inteligentes no se controla y gestiona con claridad, la comodidad del usuario puede verse comprometida. No se pueden ignorar las repercusiones en la comodidad del tejido mientras se lleva puesto porque la funcionalidad se puede añadir mecánicamente (tejiendo, por ejemplo), químicamente (mediante impresión, por ejemplo), o ambas cosas [2] [7]. Es cierto que la integración de materiales o procesos puede afectar al bienestar del usuario. Cuando tocamos una tela, podemos experimentar sensaciones de confort sensorial como suavidad, rigidez, pegajosidad, tersura, aspereza y picor. El picor y las punzadas indican dolor e incomodidad. Las sensaciones térmicas, como el calor, el frescor, la transpirabilidad, el calor y el frío, también pueden percibirse al tacto de la misma manera. Se analizan los aspectos objetivos y subjetivos del confort sensorial de los textiles inteligentes.

Factores relacionados con el confort sensorial

Las propiedades de la fibra afectan a las propiedades del hilo y al tacto y, en consecuencia, al tejido. En cuanto al confort sensorial del tejido final, todas estas cualidades están interrelacionadas. El teñido, el acabado y todos los demás parámetros de procesamiento también afectan al confort sensorial [8], [9], [10]. En



la figura 9.1 se enumeran los componentes clave de los productos textiles que pueden alterar significativamente la sensación del tejido.

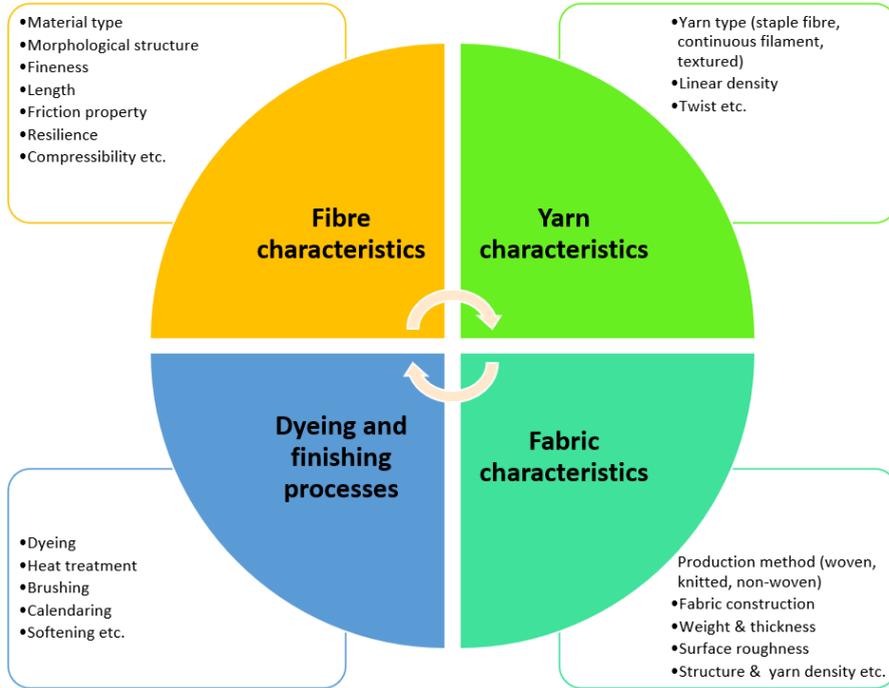


Figura 9.1. Factores relativos al confort sensorial de los productos textiles.

Evaluación objetiva del confort sensorial

Los procedimientos objetivos basados en equipos ofrecen la posibilidad de obtener resultados coherentes y reproducibles, algo difícil de conseguir con técnicas subjetivas. Se han utilizado mediciones de la conductividad térmica, la resistencia térmica, la difusión térmica y la permeabilidad relativa al vapor de agua para predecir las características de confort de los tejidos funcionales. Un enfoque de la medición del confort aplicando herramientas objetivas fue el pronóstico del confort térmico, que fue posible gracias a la medición de las propiedades térmicas relacionadas con los tejidos funcionales [11].

Kawabata y sus colegas introdujeron el sistema de evaluación de Kawabata (KES) para determinar el confort sensorial del producto textil junto con las propiedades mecánicas de baja tensión, como la tracción, el cizallamiento, la flexión, la compresión, el grosor, el peso, la superficie y las propiedades de fricción [12]. La suavidad es el elemento más crucial en el juicio manual. Por tanto, al evaluar los

textiles inteligentes por medios sensoriales, debe tenerse en cuenta la suavidad. Los métodos FAST (Fabric assurance by simple testing) [13] y FTT (Fabric touch tester) [14] también se han utilizado a fondo para medir eficazmente el tacto del producto textil. En la figura 9.2 se indican distintos métodos de evaluación objetiva del confort textil.

En un estudio, se ha descubierto que el estampado tiene un impacto significativo en la comodidad de la ropa. Los autores examinaron cómo las percepciones de la comodidad de la ropa por parte de los participantes humanos se veían afectadas por el estampado y el color utilizando un panel descriptivo entrenado de expertos [15]. En otro estudio, se descubrió que el acabado podía afectar negativamente al tacto de los productos textiles. Utilizando metodologías KES, los autores analizaron cómo afectaba el acabado a las características de manipulación del tejido. Descubrieron que el proceso de acabado tenía un impacto significativo en la capacidad del tejido para doblarse. Esto demostró la existencia de una relación entre las cualidades mecánicas de baja tensión y la manejabilidad del tejido [16].

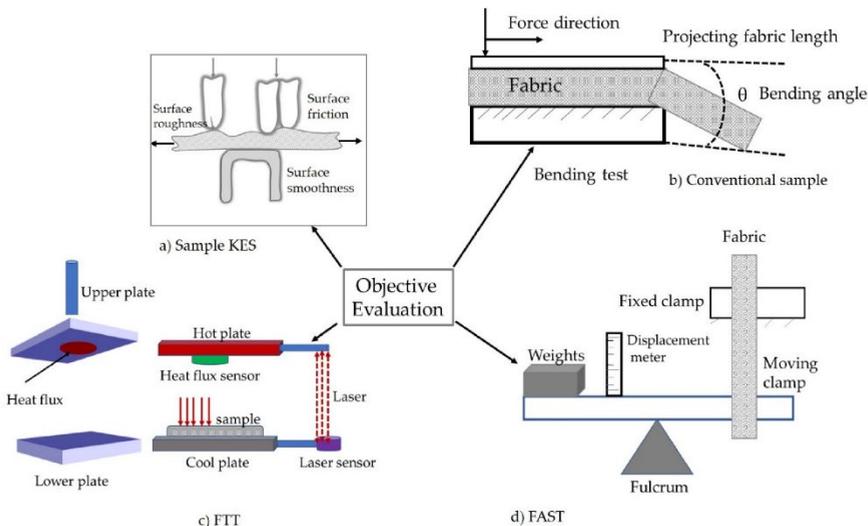


Figura 9.2. Sistemas de evaluación objetiva del confort del tejido. (a) KES [13], (b) medición de la flexión frente al confort [7], (c) FTT [17]), y (d) FAST [18].

Yoo et al. han estudiado cómo las circunstancias de uso final y las características termofisiológicas y sensoriales de la ropa de trabajo de protección resistente al calor afectan a la respuesta de confort del usuario. Se evalúan las capacidades termofisiológicas y sensoriales de los materiales de la ropa de trabajo resistente al calor con distintos contenidos de fibra, calidades de hilo, tipos de tejido y acabados



funcionales. Se pueden realizar comparaciones más precisas utilizando las cualidades sensoriales medidas que se derivan de las propiedades mecánicas, superficiales y de gestión de la humedad líquida del tejido. Los resultados del análisis de la adherencia en húmedo, el área de contacto y la rugosidad de la superficie demuestran que los hilos más suaves, las fibras más finas y los tejidos de sarga producen tejidos notablemente más suaves con poco contacto [19]. En un artículo, el confort sensorial de la ropa funcional de protección, según los autores, puede estar muy influido por la elasticidad del tejido, que también influye en la propiedad superficial del tejido [20].

El dispositivo háptico PhilaU, utilizado para proporcionar una respuesta al tacto/sensación, el probador de rigidez Shirley y los medidores de caída para la caída, los medidores de grosor para examinar el grosor y el rendimiento de la compresión, y un sistema robótico también se utilizan para analizar las cualidades de confort sensorial. Se han creado y validado varios modelos para determinar las cualidades del tacto utilizando estos enfoques objetivos [21]. El método HSDA (Handfeel Spectrum Descriptive Analysis) permite comparar de forma práctica las características sensoriales de los tejidos. El enfoque HSDA, que se utiliza en los uniformes militares estadounidenses, británicos, canadienses y australianos, se empleó en una investigación de 13 tejidos para analizar la sensación sensorial de la mano [22].

Evaluación subjetiva del confort sensorial

El mercado de los textiles electrónicos ponibles siempre está buscando nuevas innovaciones para mejorar la satisfacción del usuario en el uso continuado de textiles funcionales para la calidad de vida. Pero la facilidad de uso de la ropa influye en la frecuencia con que se utilizan los textiles funcionales. Por lo tanto, evaluar la comodidad es un primer paso crucial. Una alternativa a la medición objetiva de la comodidad de los textiles funcionales es la evaluación subjetiva. El desarrollo de varias frases sensoriales bipolares para evaluar la comodidad de los textiles funcionales puede utilizarse para estudiar las sensaciones subjetivas de las personas [16]. Para evaluar la comodidad de los textiles funcionales mediante metodologías ciegas y visuales, se han ideado palabras sensoriales específicas relacionadas con el contacto del tejido con la piel y los resultados han demostrado que la evaluación subjetiva puede ser una alternativa viable. La figura 9.3 muestra la evaluación subjetiva del confort sensorial.

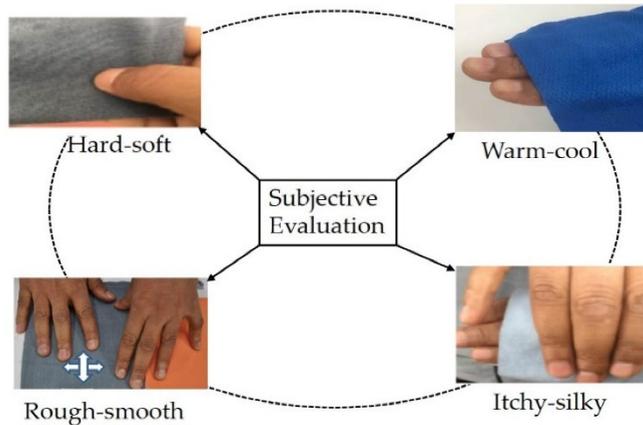


Figura 9.3 Evaluación subjetiva del confort sensorial.

Due to the sensation of touch, subjective analysis links the hand of a cloth with a psychological outcome (Bakar 2004). When a person runs their fingertips over a fabric surface, a succession of sensory reactions occurs, causing the person to feel and think. A specific hand parameter is given to the sensation that is perceived. This choice can be impacted by variables such as personality, environment, prejudice (such as desired or anticipated results), emotions, and ranking or scale criteria (Aliouche and Viallter 2000). Independent judges have subjectively evaluated fabric handling in the textile sectors. Decisions are heavily dependent on personnel standards (Yick et al. 1995). It is crucial to pick the appropriate expressions to describe a fabric handle parameter to ensure the validity of subjective assessments. Numerous authors have identified various sensory qualities; mentioned in Figure 9.4 [23].



Figura 9.4. Diversos atributos sensoriales.

Encontrar una correlación entre las mediciones objetivas para examinar la evaluación estadística requiere la conversión de los resultados de la evaluación subjetiva en valores numéricos. Por consiguiente, se recomienda utilizar la escala y el tiempo para la evaluación sensorial; mencionados en la Tabla 9.1 .

Tabla 9.1. Escala y tiempo para la evaluación sensorial [1], [23].

Atributo sensorial	Escala			Tiempo (s)
	1	5	10	
Grosor/delgadez	1	5	10	15
	+ fino	medio	+ grueso	
Suavidad/rigidez	1	5	10	20
	+ suave	medio	+ rígido	
Rugosidad/suavidad	1	5	10	15
	+ suave	medio	+ rugoso	
Manejo total	1	3	5	15
	-adecuado	medio	+ adecuado	

Se necesitan años de experiencia para la evaluación subjetiva de la mano, que también puede estar claramente influida por las propias preferencias del evaluador. Una tela puede sentirse suave, crujiente, pesada, áspera, rugosa, peluda, vellosa o suave como una pluma. También puede sentirse ligera, suave, melosa o blanda. Por lo tanto, es necesario sustituir la evaluación subjetiva del experto sobre el tejido por un enfoque objetivo basado en máquinas que produzca resultados coherentes y repetibles. En el cuadro 9.2 se indican las calidades evaluadas según las técnicas de manipulación.



Tabla 9.2. Técnicas de manipulación (Moody et al. 2001).

Técnica de manejo	Imagen	Propiedades evaluadas
Pulsación táctil		Calidad de la superficie (textura), temperatura
Acción de Vaso giratorio		Rigidez, peso, temperatura, comodidad, textura general, arrugas
Pellizco con varios dedos: Acción de rotación entre los dedos con una mano (pulgar y 1 o 2 dedos)		Textura, rigidez, temperatura, estructura estructura, las dos caras de un tejido, la fricción, el estiramiento (retroalimentación de la fuerza)
Acción de rotación a dos manos		Estiramiento, tersura

Conclusión

Los investigadores se están centrando en la evaluación del confort sensorial para valorar el rendimiento durante el uso. La comodidad de los productos puede ser evaluada subjetivamente por especialistas en la materia u objetivamente evaluando las características mecánicas con diversas herramientas. Se han utilizado estrategias matemáticas y de soft computing/inteligencia para integrar los datos



subjetivos y objetivos. En el ámbito de la ciencia del confort, se prevé que se sigan empleando sistemas inteligentes para integrar los conocimientos humanos y los datos instrumentales. Algunos algoritmos sofisticados podrían acabar sustituyendo a las técnicas convencionales de modelización del confort de los productos textiles. Es probable que los estudios futuros se centren en el uso de diversos métodos inteligentes de soft computing en el ámbito de la modelización inteligente del confort textil.

Referencias

1. Sular V, Okur A (2007) Sensory evaluation methods for tactile properties of fabrics. *J Sens Stud* 22:1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2007.00090.x>
2. Barker RL (2002) From fabric hand to thermal comfort: The evolving role of objective measurements in explaining human comfort response to textiles. *Int J Cloth Sci Technol* 14:181–200. <https://doi.org/10.1108/09556220210437158>
3. Tadesse MG, Harpa R, Chen Y, et al (2019) Assessing the comfort of functional fabrics for smart clothing using subjective evaluation. *J Ind Text* 48:1310–1326. <https://doi.org/10.1177/1528083718764906>
4. Tao X (2001) Smart technology for textiles and clothing – introduction and overview. In: Tao X (ed) *Smart Fibres, Fabrics and Clothing: Fundamentals and Applications*. Woodhead Publishing, pp 1–6
5. Aliouche D, Viallter P (2000) Mechanical and Tactile Compression of Fabrics: Influence on Handle. *Text Res J* 70:939–944. <https://doi.org/10.1177/004051750007001101>
6. Bakar BA (2004) Subjective and objective evaluation of fabric handle characteristics. The University of Leeds
7. Deng YM, Wang SF, Wang SJ (2016) Study on antibacterial and comfort performances of cotton fabric finished by chitosan-silver for intimate apparel. *Fibers Polym* 17:1384–1390. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6277-2>
8. Behery HM (2005) Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand
9. Shanmugasundaram OL (2008) Objective Measurement Techniques for Fabrics. *Asian Text J* 17:63–67
10. Özçelik Kayseri G, Özdil N, Megüç GS (2012) Sensorial Comfort of Textile Materials. In: *Woven Fabrics*. pp 235–240
11. Crina B, Blaga M, Luminita V, Mishra R (2013) Comfort properties of functional weft knitted spacer fabrics. *Tekst ve Konfeksiyon* 23:220–227
12. Kawabata S (2005) The Standardization and Analysis of Hand Evaluation. In: Behery HM (ed) *Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric Hand*. Woodhead Publishing, pp 389–443
13. Namligöz ES, Bahtiyari MI, Körlü AE, Çoban S (2008) Evaluation of finishing processes for linen fabrics using the Kawabata evaluation system. *J Test Eval* 36:384–391. <https://doi.org/10.1520/jte101461>



14. Hu JY, Hes L, Li Y, et al (2006) Fabric Touch Tester: Integrated evaluation of thermal-mechanical sensory properties of polymeric materials. *Polym Test* 25:1081–1090. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2006.07.008>
15. Robinson KJ, Chambers E, Gatewood BM (1997) Influence of Pattern Design and Fabric Type on the Hand Characteristics of Pigment Prints. *Text Res J* 67:837–845. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F004051759706701108>
16. Tadesse MG, Nagy L, Nierstrasz V, et al (2018) Low-stress mechanical property study of various functional fabrics for tactile property evaluation. *Materials (Basel)* 11:. <https://doi.org/10.3390/ma11122466>
17. Musa A BH, B M, S V, Langenhove L V (2018) Practical Considerations of the FTT Device for Fabric Comfort Evaluation. *J Fash Technol Text Eng* s4:1–4. <https://doi.org/10.4172/2329-9568.s4-003>
18. Tokmak O, Berkalp OB, Gersak J (2010) Investigation of the mechanics and performance of woven fabrics using objective evaluation techniques. part I: The relationship between FAST, KES-F and cusick's drape-meter parameters. *Fibres Text East Eur* 79:55–59
19. Yoo S, Barker RL (2005) Comfort Properties of Heat-Resistant Protective Workwear in Varying Conditions of Physical Activity and Environment. Part I: Thermophysical and Sensorial Properties of Fabrics. *Text Res J* 75:523–530. <https://doi.org/10.1177/0040517505053949>
20. Nawaz N, Troynikov O, Watson C (2011) Evaluation of surface characteristics of fabrics suitable for skin layer of firefighters' protective clothing. *Phys Procedia* 22:478–486. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.074>
21. Wang H, Mahar TJ, Hall R (2012) Prediction of the handle characteristics of lightweight next-to-skin knitted fabrics using a fabric extraction technique. *J Text Inst* 103:691–697. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.602230>
22. Cardello AV (2008) The sensory properties and comfort of military fabrics and clothing. In: *Military Textiles*. Woodhead Publishing, Cambridge, pp 71–106
23. Sülar V, Okur A (2008) Objective Evaluation of Fabric Handle by Simple Measurement Methods. *Text Res J* 78:856–868. <https://doi.org/10.1177/0040517508090785>
24. Moody W, Morgan R, Dillon P, et al (2001) Factors Underlying Fabric Perception. 1st Eurohaptics Conf Proc 1–10
25. Yick KL, Cheng KPS, How YL (1995) Subjective and objective evaluation of men's shirting fabrics. *Int J Cloth Sci Technol* 7:17–29. <https://doi.org/10.1108/09556229510094832>



Capítulo 10 Ética y requisitos de los sensores y actuadores inteligentes integrados en productos textiles

David Gómez, AEI Tèxtils, Desarrollo Corporativo, Terrassa, Barcelona.

Resumen

La ética relacionada con los textiles inteligentes tiene mucho que abordar. La ética, entendida como la forma en que las nuevas e inteligentes aplicaciones que proporcionan los textiles inteligentes, es un tema delicado. Y es delicado porque la mayoría de esas aplicaciones gestionan no sólo datos personales y privados de la persona que utiliza el wearable, sino también datos vitales (fisiológicos), especialmente cuando hablamos de equipos de protección inteligentes.

Además, no sólo la gestión de los datos es un factor clave a tener en cuenta para garantizar un uso seguro de los textiles inteligentes, sino también las cuestiones de seguridad directamente relacionadas con la salud y/o los posibles daños que un wearable podría generar en los seres humanos.

Este artículo trata de explicar cómo tanto los datos como el cuidado físico son factores cruciales a tener en cuenta cuando utilizamos productos textiles inteligentes para garantizar su seguridad en todas sus dimensiones, no sólo cuando se utilizan, sino también después. En particular, el documento se centrará en la normativa de protección de datos de la Unión Europea y en algunos casos teóricos y prácticos sobre seguridad física y ética.

Reglamento de protección de datos de la UE – GDPR

La legislación del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) adoptada por la Unión Europea (UE) es la norma principal y de mayor rango sobre protección y gestión de datos que deben seguir todos los miembros de la UE. Se trata de una cuestión no superficial, ya que la Carta de los Derechos Fundamentales de la UE establece que todos los ciudadanos de la UE tienen derecho a mantener protegidos sus datos personales [1].

Esta directiva fue aprobada en 2016 y no sólo pretende proteger los datos mencionados, sino también establecer los mismos estándares de protección de datos para todos los miembros de la UE y sus ciudadanos.

En este ámbito, los datos cobran especial importancia si hablamos de datos fisiológicos y de salud -que son los que se abordan en este trabajo por ser los estrictamente vinculados con los textiles inteligentes y los wearables electrónicos.



Si hablamos de los Estados Unidos de América (EE.UU.), la normativa sobre privacidad pasa por la HIPAA. Y en ambos casos, UE y EE.UU., estas normas tienen como objetivo prevenir los escándalos de uso indebido de datos, mitigar el impacto de las fugas de datos y respaldar las regulaciones legales de privacidad con un marco común [3]. Sin embargo, todavía no se ha acordado una normativa mundial sobre esta cuestión [5].

Esta información se aplica en el campo de los textiles inteligentes en varios aspectos relacionados con la relación del usuario con la electrónica. Se aplica desde la aceptación de la política de privacidad en un sitio web hasta el ámbito de los textiles inteligentes.

Datos de seguridad

En este último caso y, teniendo en cuenta que algunos datos se consideran muy sensibles, deben diseñarse y aplicarse algunos mecanismos preventivos. Éstos minimizarían o no los ciberataques u otro tipo de amenazas procedentes de actores externos. La fiabilidad de estos mecanismos es un factor clave para mantener protegidos estos datos sensibles.

Por ejemplo, la monitorización de las métricas -y si son anormales o no- puede facilitar la detección de la calidad del servicio y si está siendo atacado y los datos amenazados.

A continuación, el factor de autenticación para acceder a los datos (a través de un dispositivo o un wearable inteligente) se ha convertido en los últimos años en un elemento determinante. Esta autenticación va desde elementos clásicos como una contraseña, con requisitos también clásicos como evitar las simples, hasta la incorporación de nuevos elementos como los de posesión (tarjetas) y acceso biométrico. La combinación de todos estos elementos dotará al sistema de robustez ante la primera puerta por la que se pueda acceder a los datos, robarlos, interrumpirlos...

En este sentido, la trazabilidad es otro factor a tener en cuenta. Es decir, la capacidad de detectar, la huella del atacante una vez realizado el ataque y en la medida de lo posible, determinar su procedencia, identidad, objetivos y, en general, la mayor cantidad posible de información útil que ayude a reparar el daño en caso de que se produzca una investigación posterior.



Además, es importante subrayar que la vulnerabilidad de los datos puede aparecer en varios momentos de su gestión. Desde su generación, en tiempo real, hasta su transferencia o cuando se almacenan. Por ello, se deben diseñar y preparar los elementos y acciones preventivas mencionadas para evitar amenazas en cualquiera de esas etapas.

Tabla 10.1. Resumen y clasificación de las soluciones de seguridad en los sistemas sanitarios inteligentes [4].

Type	Solution	Actor	TCP/IP Layer	Requirements Protected
Secure communications	Lightweight cryptography	Nodes Communications HIS	Network interface	Confidentiality Integrity Non-repudiation Authentication
	Key management	Nodes HIS	Network interface	Confidentiality Authentication
Always-on systems	Secure routing	Communications	Network	Availability
	DDoS countermeasures	Nodes Communications HIS	Network	Availability
Trust management	Authentication protocols	Nodes HIS	Transport Application	Authentication Confidentiality Privacy
	Access control mechanisms	HIS	Application	Authentication Confidentiality Privacy
	Intrusion detection systems	Communications HIS	Network Transport Application	Confidentiality Integrity Availability Authentication Privacy
	Traceability of digital evidence	HIS	Application	Integrity
Data protection	Privacy protection models	HIS	Application	Privacy
	Awareness programmes	Users	-	Privacy

Tecnologías textiles conductoras y seguridad

Otro aspecto del que hay que hablar en el campo de la seguridad y los textiles inteligentes es la seguridad de un textil con propiedades conductoras.

Los sensores no pueden afectar a la piel en ningún sentido, y lo mismo ocurre con la salud y la seguridad humanas. Desde el punto de vista de la funcionalidad y el usuario, los sensores y actuadores deben ser fiables, ya que de lo contrario sus



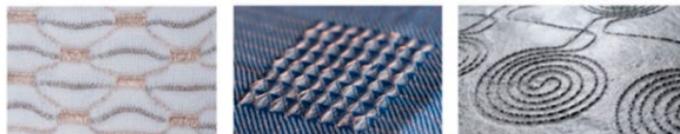
usuarios no pueden confiar en las alarmas y alertas emitidas desde la APP u otros dispositivos.

Para producir un tejido con propiedades conductoras, existen dos métodos comunes principales:

Trefilado Según A. Angelucci, et al., el trefilado es un proceso mecánico que transforma la materia prima en microfilamentos [...] aplicando fuerzas con máquinas industriales. Tras el trefilado, el microfilamento se recuece a una temperatura elevada de 600-900 °C para restablecer sus propiedades mecánicas y eléctricas. Después, el alambre se enfría y se envuelve en un cilindro giratorio. Los metales más utilizados para este proceso son el cobre, la plata, el bronce, el acero y el cobre plateado [4].

Recubrimiento de fibra. El recubrimiento de fibra consiste en aplicar metales o polímeros conductores sobre la superficie de un sustrato no metálico para hacerlo conductor [...]. El sustrato puede ser una fibra, un hilo o un tejido. En la presente revisión, la fibra se considera una unidad conductora en aras de la claridad. Las diferentes técnicas utilizadas para fabricar fibras conductoras son el sputtering, la polimerización química, la electrodeposición y el recubrimiento por inmersión [3].

El aspecto importante en este punto es que ambos métodos acaban creando textiles electrónicos seguros en el sentido de que se realizan pruebas previas de los sensores que se van a utilizar. De este modo, podemos estar seguros de que los dispositivos electrónicos son seguros y el producto puede utilizarse.



Knitting, Weaving, Embroidery

Conductive Textiles

Coating Methods



- Chemical Polymerization
- Electrodeposition
- Dip Coating
- Sputtering

Printing Methods

- Screen Printing
- Flexographic Printing
- Inkjet Printing

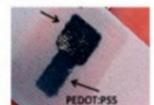




Figura 10.1. Técnicas más comunes de fabricación de textiles conductores: punto, tejido, bordado; métodos de recubrimiento; impresión [3].

Casos prácticos

Un ejemplo de prototipo desarrollado recientemente que se diseñó siguiendo las directrices del GDPR es el proyecto de SmartWorkwear [5]. Fue confeccionado por CP Aluart, e incorpora varios sensores capaces de monitorizar las constantes físicas de la persona que lleva el producto. En este caso, los sensores probados y validados se integran en una camiseta funcional.

En particular, recoge datos sobre temperatura, humedad, ritmo cardíaco y otros datos relacionados con la salud que se consideran sensibles y que pueden prevenir, en este caso, al trabajador de un riesgo relacionado con el entorno como un desmayo, por ejemplo.



Figura 10.2 SMART-WORKWEAR [5]

Conclusiones

Durante las últimas décadas, la generación de datos personales ha aumentado con la implantación y extensión de la virtualidad e internet. Particularmente la relacionada con la salud, es una información sensible susceptible de ser robada y utilizada con fines deshonestos. Por ello, resulta crucial mantenerla a salvo.

Hasta ahora, esta necesidad ha sido abordada por la UE y EEUU mediante la creación de un marco general para cada territorio. Aún así, no están contrastados entre sí, y el resto del mundo, principalmente, no ha implantado de forma extensiva una regulación de este tipo.

Además, hay que tener en cuenta más aspectos sobre la seguridad del usuario. Y van desde la ciberseguridad, donde serán necesarias mejoras continuas para hacer frente a la evolución y adaptación de los hilos virtuales, hasta los físicos, que deben garantizar que los dispositivos electrónicos incorporados a cualquier wearable son seguros para el usuario.

Referencias

[1]EUR-Lex, Access to European Union Law. Document 12012P/TXT, "Charter of Fundamental Rights of the European Union". September 15th. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:12012P/TXT>

[2] European Commission, Data protection in the EU, "The General Data Protection Regulation (GDPR), the Data Protection Law Enforcement Directive and other rules concerning the protection of personal data". September 15th. Available online: https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_en

[3]Batista, M.; Moncusi, A.M.; López-Aguilar, P.; Martínez-Ballesté, A.; Solanas, A. Sensors for Context-Aware Smart Healthcare: A Security Perspective. *Sensors* 2021, 21, 6886. <https://doi.org/10.3390/s21206886>

[4] Angelucci, A.; Cavicchioli, M.; Cintorrino, I.A.; Lauricella, G.; Rossi, C.; Strati, S.; Aliverti, A. Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques. *Sensors* 2021, 21, 814. <https://doi.org/10.3390/s21030814>

[5] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/c-p-aluart-presents-its-smart-textile-prototype-for-personal-protection/>



Capítulo 11 Impulsar la innovación en sensores inteligentes, actuadores y wearables mediante el codiseño y el codesarrollo

David Gómez, AEI Tèxtils, Desarrollo Corporativo, Terrassa, Barcelona.

Resumen

El papel de los clusters en el impulso de la innovación no es relevante, sino determinante. Los clusters asesoran a las empresas en su camino para conocer y explotar sus capacidades, su dirección estratégica y mejorar sus debilidades. Hoy en día, estos objetivos están directamente en línea con la transformación del sector, con la actualización de la industria textil del siglo XX al siglo XXI. En concreto, esta mejora gira en torno a dos pilares clave de innovación (entre otros) la sostenibilidad y la digitalización.

Los clusters también abordan estos objetivos actuando como un ecosistema óptimo para la interacción de las empresas, facilitando la simbiosis, el intercambio de experiencias y la confianza entre ellas.

Algunos ejemplos de este tipo de actividades facilitadoras son la colaboración empresarial o la simple participación -cada una por su cuenta- en diversos programas para el desarrollo de nuevos productos o la mejora de sus empresas y fábricas.

Asimismo, algunos programas de financiación se dirigen a varias empresas para encontrar la manera de introducir en un producto existente una aplicación inteligente o directamente diseñar un nuevo producto que surja de las ideas de las empresas.

En muchos casos, el resultado de estas iniciativas lideradas por clusters acaban produciendo nuevos productos y nuevas aplicaciones que implican sensores, actuadores y muchas otras formas de innovación para el mercado.

Este artículo trata de explicar la experiencia particular del Clúster Catalán de Materiales Textiles Avanzados, AEI Tèxtils, y las iniciativas de innovación de sus empresas como ejemplo para ilustrar cómo un clúster impulsa la innovación y cómo éste y sus empresas actúan como ecosistema facilitador del co-diseño y co-desarrollo de la innovación en el sector.

Introducción

AEI Tèxtils, el Clúster Catalán de Materiales Textiles Avanzados, ha estado asesorando a algunas de sus empresas asociadas durante los últimos años para desarrollar proyectos que se presentaran a varias convocatorias "dedicadas a



ayudar a empresas innovadoras a digitalizar sus negocios gracias a la electrónica flexible y wearable de ensayo, experimentación y soporte a la fabricación"[1].

El cluster apoya regularmente a sus empresas en términos de pre-asesoramiento y evaluación de sus proyectos innovadores antes de ser enviados a la convocatoria de evaluación.

En particular, ha participado activamente en dos tipos de programas de financiación que impulsan la innovación entre las empresas y apoyan económicamente el desarrollo de productos como actuadores, sensores y wearables en general: Programa SMARTEES [2] y Proyecto GALACTICA [3].

Cabe destacar que el éxito de esta actividad es muy importante, ya que en la última convocatoria de SMARTEES se concedieron ayudas a tres miembros para desarrollar sus proyectos.

SMARTEES

SMARTEES es un proyecto que lanza convocatorias de propuestas para "ayudar a las empresas innovadoras a digitalizar sus negocios gracias a las pruebas, la experimentación y el apoyo a la fabricación de electrónica flexible y vestible (FWE)". Está fundado por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea y ha permitido el desarrollo de múltiples proyectos innovadores dentro del sector textil.

Se centra en "Tecnologías de electrónica flexible y vestible" y "es uno de los Digital Innovation Hubs (DIHs) que son ecosistemas formados por pymes, grandes industrias, start-ups, investigadores, aceleradoras e inversores".

Entre sus objetivos se encuentran a) ayudar a las empresas de la UE en su digitalización empresarial, b) apoyar a las empresas de la UE en la prueba y experimentación de prototipos antes de que decidan invertir en ellos y lanzar un nuevo producto y c) crear un Digital Innovation Hub que actúe como una red que fomente la digitalización entre las partes interesadas de la UE.

La última edición de este programa abarcó el periodo 2020-2022 y, como se ha mencionado, algunas empresas miembros del clúster resultaron beneficiarias ya que sus proyectos fueron evaluados como altamente competitivos e innovadores. Asimismo, en ediciones anteriores se habían concedido ayudas a la industria catalana.



Arpe [3] es la empresa que ha desarrollado el primer ejemplo de wearable co-diseñado que el clúster va a proporcionar. Ante las dificultades de las pandemias COVID-19 y los evidentes retos en cuanto al proceso de lavado de las mascarillas reutilizables (necesariamente han de lavarse a altas temperaturas y con gran consumo de agua), Arpe desarrolló una Smart-Facemask [4].

Consiste en una máscara elaborada con un patrón de hilos que añade interconexiones eléctricas en su interior para permitir el autocalentamiento con el fin de eliminar la posible presencia de virus.



SMART-FACEMASK PROTOTYPE BY ARPE

ARPE IS SPECIALIST IN DESIGNING, PRODUCING AND PRINTING MICROFIBER TOWELS AND OTHER SUSTAINABLE PROMOTIONAL TEXTILES

PROBLEM TO BE SOLVED

Current washing requirements for textile masks require standalone washing cycles at 60°C (aggressive temperature for the fabrics and polluting of large amounts of water).



The development of a textile with an integrated disinfection system, reducing the washing requirements of the mask, without compromising user safety.



OUTCOME

SMART-MASK consists in a smart hygienic face mask, with a resistive yarn pattern on the inner layer and customized electric interconnections for powering it up.

It uses heat to denature and deactivate viruses within short timeframes by self-heating the facemasks for 3 minutes. The prototype is composed by 3 parts:

Figura 11.1. Infografía explicativa del concepto de mascarilla facial inteligente

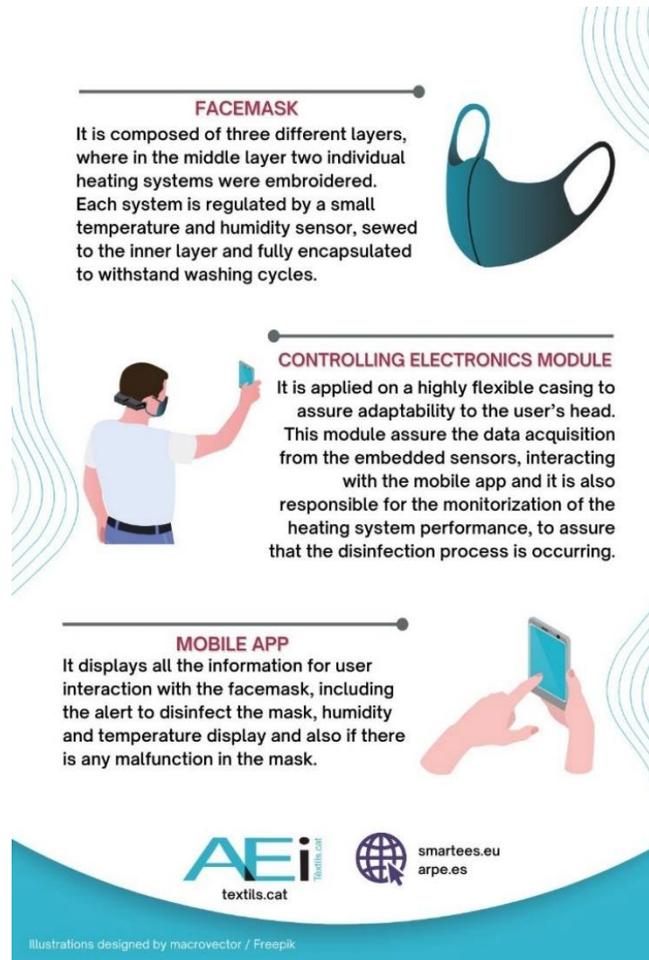


Figura 11.2. Infografía explicativa del concepto de mascarilla facial inteligente.

Polisilk [5], en su proyecto, propuso crear un prototipo denominado Smart-horse-riding [6].

Este concepto consiste en una media almohadilla inteligente para el mercado de la doma dentro de la disciplina ecuestre. "Este producto está compuesto por electrónica flexible a través de hilos conductores impresos y sensores de presión dentro de una media almohadilla (manta colocada bajo la silla del caballo). Los diferentes puntos de presión generados por la posición del jinete sobre el caballo se visualizan a través de una app personalizada desarrollada durante la fase de prototipo".



Estas mejoras añadidas a un producto clásico avalan la nueva versión con varias ventajas relacionadas con la ergonomía, previniendo posibles lesiones al jinete y al dorso del caballo; con el entrenamiento, permitiendo hacer un seguimiento en tiempo real de algunos datos para mejorar el rendimiento del jinete; con su lavabilidad, permitiendo lavar el producto en una lavadora convencional y con la flexibilidad calidad, entre otras.

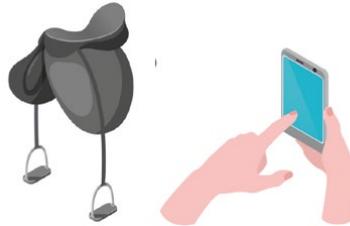


Figura 11.3 Dibujo del concepto Smart-horse-riding



Figura 11.4 Rendimiento real del Smart-horse-riding

Por último, C.P. Aluart [7] desarrolló otra idea dirigida a las condiciones de los trabajadores. Mediante sensores múltiples y flexibles integrados en un indumentario de trabajador convencional, la empresa creó el prototipo de una prenda inteligente de contacto con la piel que mide las condiciones fisiológicas del usuario en tiempo real.



De esta forma, es posible medir en todo momento las condiciones a las que está expuesto el trabajador en el exterior (temperatura, humedad,...) y determinar los posibles riesgos que puede sufrir como fatiga o golpes de calor.

El nombre de este producto es SMART-WORKWEAR [8].



Figura 11.5 SMART-WORKWEAR

Proyecto Galactica

El Proyecto Galactica es otra iniciativa financiada por el programa Horizonte 2020, de la Unión Europea, que tiene como objetivo apoyar a las PYMEs a través de un mecanismo de apoyo principalmente financiero -aparte de otros- a la innovación. En particular, aquellos proyectos que implementen dinámicas intersectoriales en los ámbitos textil, aeroespacial y de fabricación avanzada.

Según el Cluster, "GALACTICA es un proyecto estratégico clave de la AEI Tèxtils para impulsar la innovación tecnológica y los nuevos modelos de negocio como motor de crecimiento y competitividad de las pymes del sector. Sirve para promover la



cooperación entre los socios y con otros sistemas innovadores como el aeroespacial y la fabricación avanzada. Su fuerte enfoque intersectorial permite generar oportunidades de negocio e innovación intersectorial, promoviendo la cooperación transversal para desarrollar aplicaciones y mercados novedosos [9].

A través de esta iniciativa, e impulsadas por el apoyo del clúster, cinco empresas miembro consiguieron una subvención que ayudaría a financiar sus ideas y prototipos innovadores. Se trata de Cinpasa [10], E.Cima [11], Texfire [12], Maccion [13], Fello [14] y Triturats la Canya [15].

Entre otros, las empresas mencionadas han desarrollado desde un sistema textil de refrigeración activa para prevenir el estrés térmico en trabajadores al aire libre [16] hasta una cinta transmisora de datos disruptiva y respetuosa con el medio ambiente para la industria aeronáutica [17] o una cinta textil inteligente con soluciones de fibra óptica embebida con mayor precisión y flexibilidad para aplicaciones en la monitorización de la salud estructural de estructuras aeronáuticas compuestas [18].

Conclusiones

Impulsar la innovación y crear capacidad de codiseño y codesarrollo no es fácil.

Por supuesto, las empresas pueden liderar sus propios proyectos por sí solas, pero estudiar, diseñar, probar, crear prototipos y lanzar un nuevo producto no sólo es una tarea que requiere mucho tiempo, sino también grandes cantidades de dinero.

Las empresas de la industria textil están más que capacitadas para liderar esta revolución en el paradigma de la innovación, pero es necesario crear el entorno adecuado para alcanzar tan ambicioso objetivo.

Para ello, la cooperación y el asesoramiento dentro del sector es clave, y la existencia de líneas de financiación determinante, ya que un pequeño grupo de empresas podría permitirse investigaciones tan costosas para desarrollar productos nuevos e innovadores.

A través de esa financiación económica y de un buen papel desempeñado por los clusters la apuesta por la innovación es más amplia y profunda que si estos factores no existieran o no funcionaran adecuadamente.

Referencias



- [1] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/aei-textils-members-to-start-innovative-projects-enabled-by-the-cluster-support/>
- [2] Smartees project, September 19th,2022. Available online: <https://smartees.eu/>
- [3] Galactica project, September 16th,2022. Available online: <https://galacticaproject.eu/>
- [4] ARPE company. September 16th,2022. Available online: <https://arpe.es/en>
- [5] Twitter post. Consulted on September 19th, 2022. Available online: <https://twitter.com/SmartEEsEU/status/1485564863590064129>
- [6] Polisilk company. September 16th,2022. Available online: <https://www.polisilk.com/home>
- [7] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/polisilk-presents-its-first-smart-horse-riding-prototype-4/>
- [8] C.P. Aluart company. September 16th,2022. Available online: <https://cpaluart.com/en/cpaluart-sl/>
- [9] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/c-p-aluart-presents-its-smart-textile-prototype-for-personal-protection/>
- [10] Associació Agrupació d'Empreses Innovadores Tèxtils (AEI Tèxtils), September 15th, 2022. Available online: <https://www.textils.cat/en/5-members-of-aei-textils-awarded-180ke-in-funding-from-the-2nd-call-of-galactica-for-their-innovation-projects/>
- [11] Cinpasa company. September 16th,2022. Available online: <https://cinpasa.com/>
- [12] E. Cima company. September 16th,2022. Available online: <https://ecima.com/en/>
- [13] Texfire company. September 16th,2022. Available online: <https://texfire.net/es/>
- [14] Maccion company. September 16th,2022. Available online: <https://www.maccion.com/>
- [15] Fello company. September 16th,2022. Available online: <https://fellosporswear.com/>
- [16] Triturats la Canya company. September 16th,2022. Available online: <http://trituratslacanya.com/>
- [17] Galactica project, September 16th,2022. Available online: <https://galacticaproject.eu/orbital-beneficiaries/>
- [18] Galactica project, September 16th,2022. Available online: <https://galacticaproject.eu/pioneer-beneficiaries/>

Capítulo 12 Métodos creativos para el codiseño del producto textil inteligente

Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina y Bodoga Alexandra, Gheorghe Asachi Technical University, Rumanía

Introducción

El codiseño es un proceso. La posibilidad de enfocar el proceso de codiseño de varias maneras crea la oportunidad de utilizar distintos métodos, principios y modelos. Todos ellos, susceptibles de ser aplicados a diferentes personas.

No existe un enfoque único, pero sí modelos y principios que pueden aplicarse de distintas maneras con distintas personas.

Los elementos de interdependencia del codiseño son: producción, entrega, diseño, evaluación y planificación (figura 12.5). El codiseño hace referencia a la creatividad colectiva de los diseñadores que colaboran.

El lugar del codiseño en el proceso de diseño se presenta en la figura 12.1 [5].

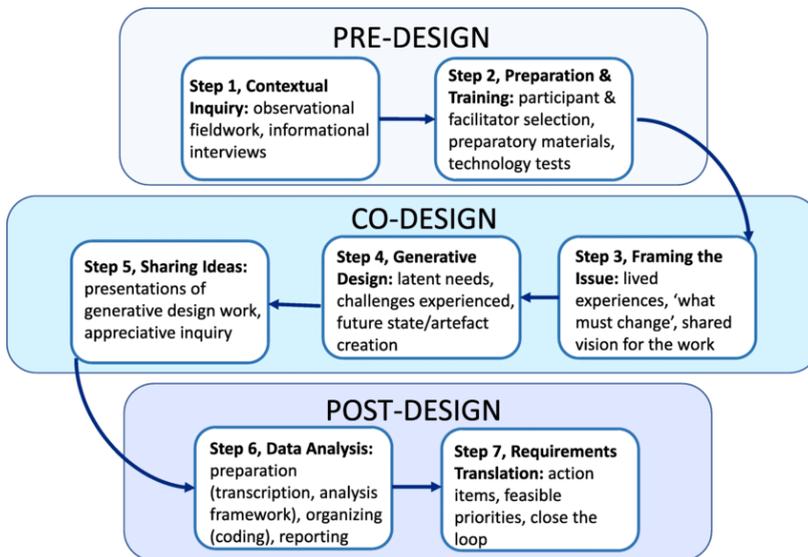


Figura 12.1 El lugar del codiseño en el proceso de diseño

De la figura 12.1 se desprende que hay tres niveles en el proceso de diseño:



1. **Prediseño**, que consta de dos pasos: investigación contextual y preparación y formación;
2. El **codiseño**, que consta de tres pasos: compartir ideas, diseño generativo y planteamiento del problema;
3. **Posdiseño**, que consta de dos pasos: análisis de datos y traducción de requisitos.

El codiseño es como un puzzle formado por dos piezas: usuarios y diseñadores (figura 12.2). Cuando las dos piezas encajan a la perfección, el resultado es el codiseño.

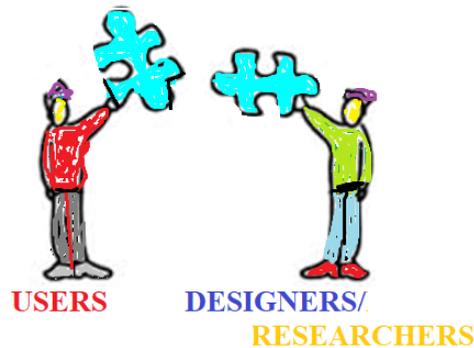


Figura 12.2 Colaboración entre usuarios y diseñadores

Diferencias entre el codiseño y otros enfoques de diseño En la figura 12.3 [4] se presentan las diferencias entre el codiseño y el diseño clásico.

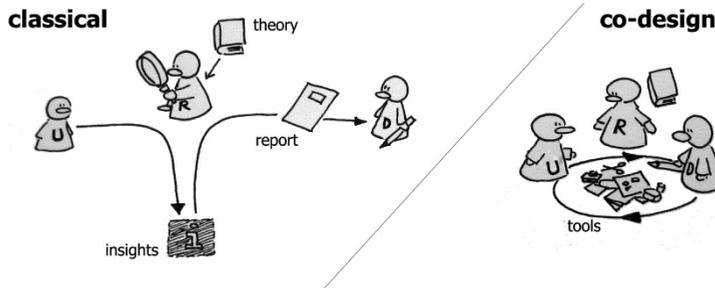


Figura 12.3 Comparaciones entre el codiseño y el diseño clásico

Los componentes del proceso de codiseño se presentan en la figura 12.4.

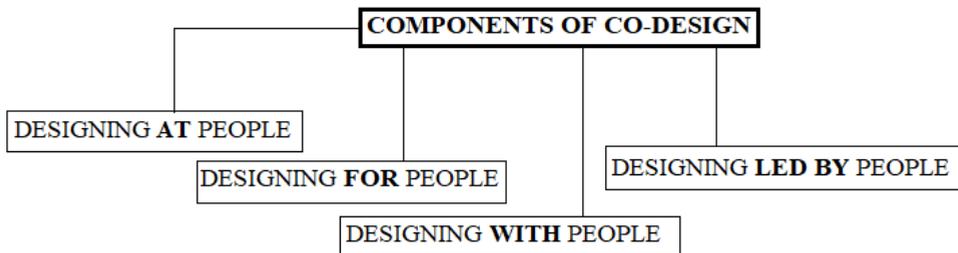


Figura 12.4 Los componentes del codiseño

Mientras que en el diseño clásico, el investigador actúa como traductor entre los "usuarios" y el diseñador, en el codiseño, el investigador (que puede ser un diseñador) es un facilitador.

Métodos creativos de codiseño

Los métodos creativos de codiseño se presentan en la figura 12.5 [3].



1. El diseño participativo, como método creativo de codiseño, consiste en la implicación activa en el proceso de diseño de todos aquellos que intervienen en dicho proceso. (figura 12.5) [3].

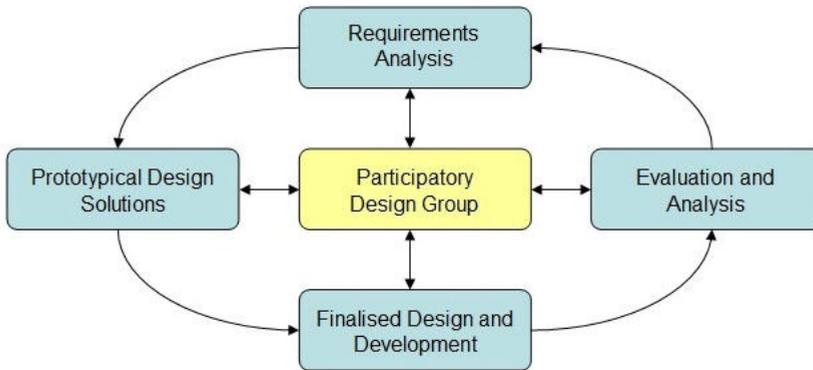


Figura 12.5 Clasificación de los métodos creativos de codiseño

2. Las posibilidades de aplicar el método de diseño en colaboración con los usuarios [1] se presentan en la figura 12.6.

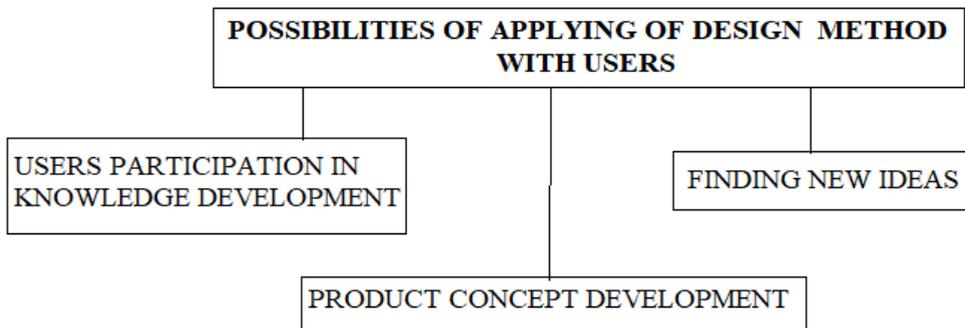


Figura 12.6 Método de diseño con los usuarios

3. En la figura 12.7 se presentan los contenidos del **método de investigación de autorreflexión** [1] y las posibilidades de aplicación.

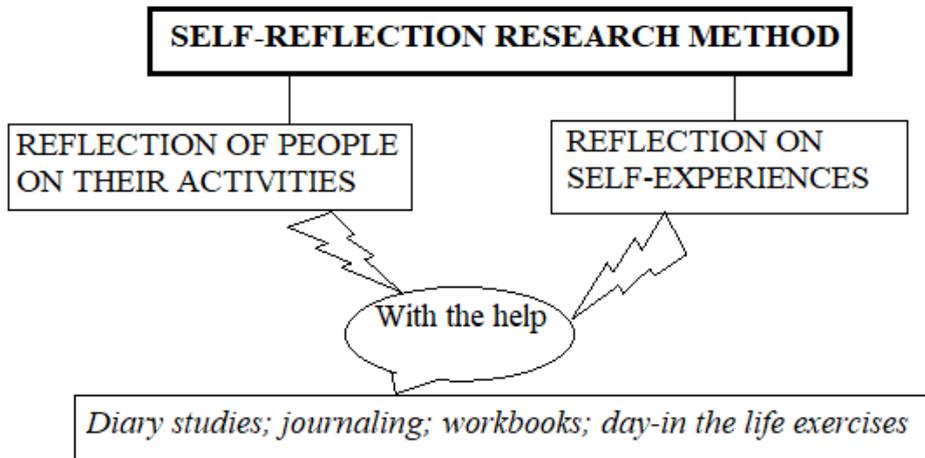


Figura 12.7 Método de investigación de autorreflexión

The principles for co-design are Los principios del codiseño se presentan de forma sugerente en la figura 1.8. presented in figure 1.8.

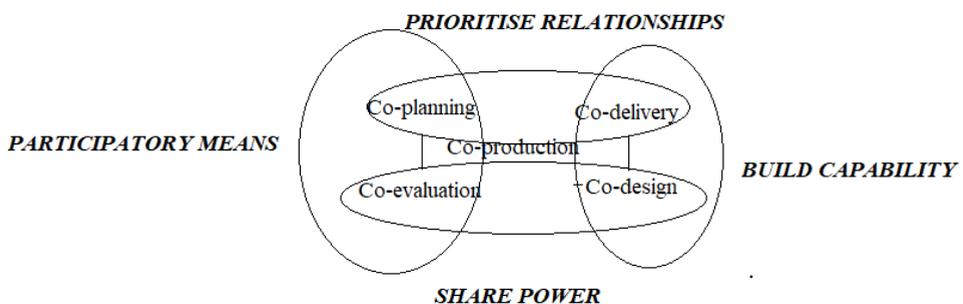


Figura 12.8 Los principios del codiseño

Materiales textiles para ropa inteligente

Cuando para la obtención de ropa inteligente se aplican métodos creativos de co-diseño, es necesario conocer los materiales textiles (figura 1.9) [6] a partir de su estructura.

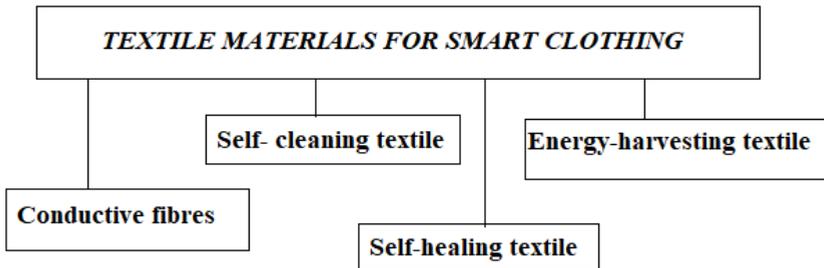


Figura 12.9 Los principales materiales textiles para la ropa inteligente

Mediante el uso de fibras con una alta capacidad conductora, se pueden obtener efectos antiestáticos, EMI, absorción IR [2].

Los textiles autolimpiantes (cobre 3D, nanoestructura de plata) a través de su mecanismo (nanoestructuras, excitación de átomos metálicos por la luz) se utilizan para la obtención de camisas, chaquetas, etc. [2].

En medicina y no sólo, se pueden utilizar textiles autocurativos (basados en tinta magnética, polvo de carbono), que tienen la capacidad de liberar lentamente el agente curativo.

Las funciones de los textiles inteligentes se presentan en la figura 1.10 [2].



Figura 12.10 Las funciones del textil inteligente



Conclusiones

En la actualidad, debido al desarrollo de la sociedad humana, la atención se centra en la aparición de nuevos textiles inteligentes (desarrollo en tecnologías textiles, mediante nuevos materiales, nanotecnología y electrónica) para la ropa inteligente, lo que conllevará un aumento de la calidad de vida. Así pues, los textiles de la próxima generación son los textiles inteligentes.

Pero el principal requisito de la ropa inteligente sigue siendo la comodidad en el uso de la ropa.

Referencias

1. <https://uxmag.com/articles/creativity-based-research-the-process-of-co-designing-with-users>

2 Dilan Canan Çelikel, *Smart E-Textile Materials*,

<https://www.intechopen.com/chapters/73836>, Submitted: November 18th,
2019 Reviewed: April 9th, 2020 Published: October 30th, 2020

DOI: 10.5772/intechopen.92439

3. https://www.researchgate.net/publication/281901079_Evaluating_the_Role_of_Prior_Experience_in_Inclusive_Design/

4. <https://www.google.com/search?q=The+difference+of+codesign+and+classical+design&tbm>

5. <https://www.google.com/search?q=design%2C+pre-design+and++co-design+&tbm>

6. <https://www.google.com/search?q=smart%20textile%20product.images&tbm=isch&tbs=ring:>



Capítulo 13 Co-diseño de sensores inteligentes e integración en EPI militares

*Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina y Bodoga Alexandra Gheorghe Asachi
Technical University, Rumanía*

Introducción

Para un soldado, las capacidades fisiológicas y físicas son muy importantes para las actividades que realiza. Por esta razón, estas capacidades deben ser monitorizadas, utilizando sistemas vestibles y ropa inteligente [1].

Los principales requisitos de la ropa inteligente [2] se presentan en la figura 13.1

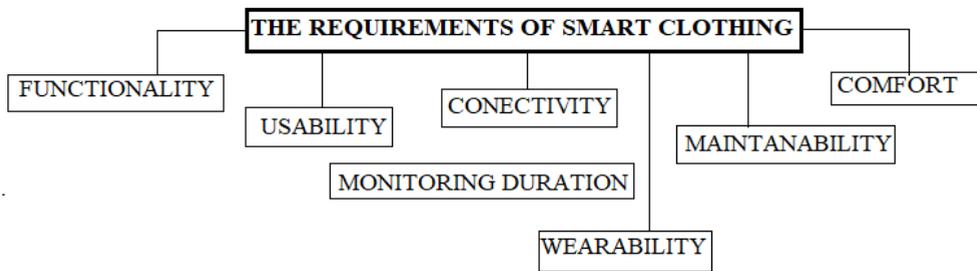


Figura 13.1 Requisitos de la ropa inteligente

La figura 13.1 muestra los requisitos relativos a la comodidad de la ropa inteligente. Este requisito es muy importante en el uso de tecnologías de monitorización de sistemas portátiles [3].

Los sistemas portátiles interactúan física, fisiológica y funcionalmente con el cuerpo humano.

En la figura 13.2 se presentan los dos campos que intervienen en el diseño de una prenda inteligente [1].

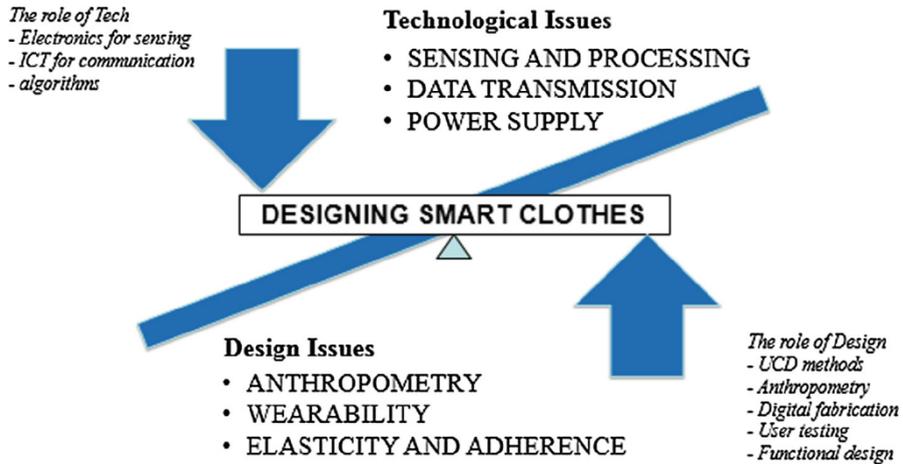


Figura 13.2 El diseño de ropa inteligente

Para que el proceso de diseño se desarrolle sin problemas, primero hay que conocer los requisitos del usuario [1] (Figura 13.3) [4].



Figura 13.3 El proceso de pensamiento de diseño

Sensores de deformación

La deformación (mecánica o térmica) se debe a una fuerza, cuando la longitud de un elemento cambia relativamente (alargamiento o compresión).

Por ejemplo, la deformación mecánica se mide con ayuda de sensores, que registran indirectamente la fuerza de deformación [5].



En la figura 13.4 se puede ver que la deformación puede ser: positiva y negativa [5].

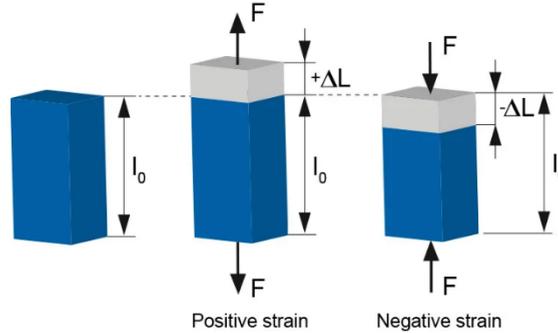


Figura 13.4 Tipos de tensión

La **medición de la fuerza con sensores de deformación** se presenta en la figura 13.5 [5]

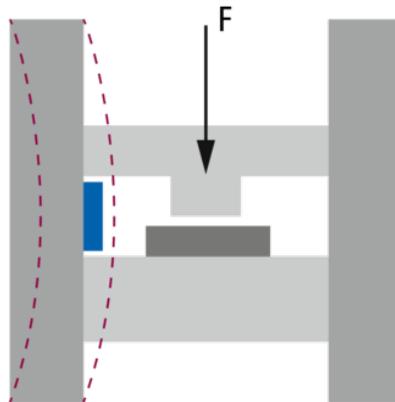


Figura 13.5 Medición indirecta de la fuerza con sensores de deformación

Los **tipos de sensores de deformación** se presentan en las figuras 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 [4].



Figura 13.6 Sensor de deformación en miniatura



Figura 13.7 Rendimiento del sensor de deformación



Figura 13.8 Sensor de deformación estándar



Figura 13.9 Sensor robusto para entornos exteriores difíciles

Dado que este tipo de sensor de deformación se aplica en un espacio limitado, se utilizará para entornos industriales difíciles, así como sensor pasivo enchufable (figura 13.6).

Las características del rendimiento del sensor de deformación (figura 13.7) [5] son:

- optimizado para rangos de medición pequeños y grandes;
- electrónica de amplificación integrada para aplicaciones específicas
- aplicación industrial en interiores.

En EPI militares son muchos y complejos y diferentes tipos de sensores (figura 13.10) [6,7]

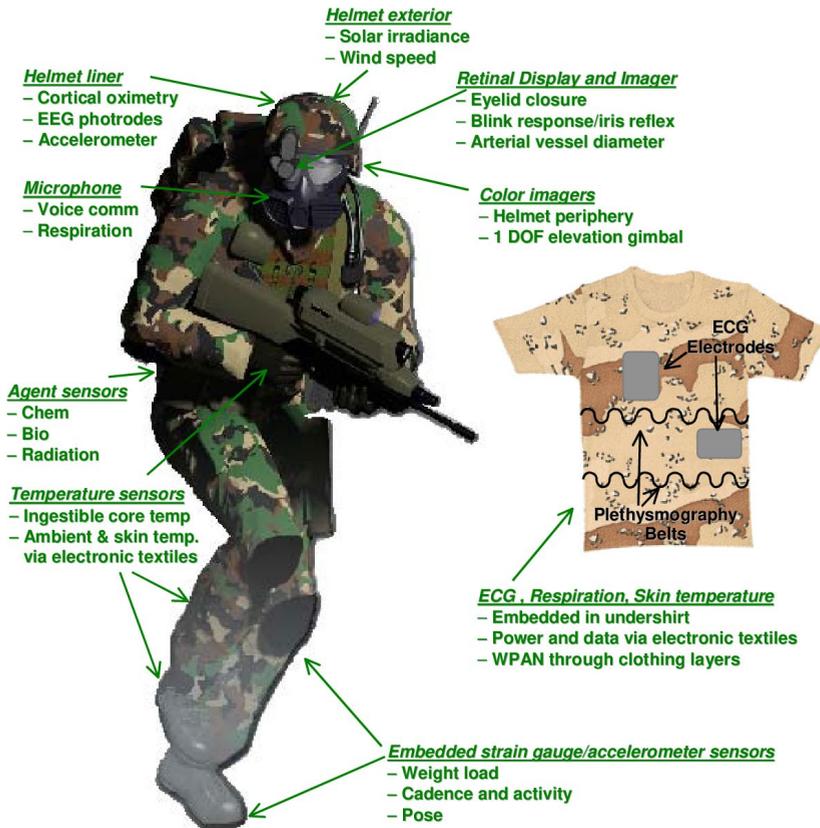


Figura 13.10 EPI militar

Conclusiones

El co-diseño de sensores inteligentes y su integración en productos EPI militares, supone el conocimiento de los requisitos del ámbito del uso de EPI militares y la comodidad que sienten los usuarios.

Referencias

1.Sofia Scatagliani, Giuseppe Andreoni, and Johan Gallant, *Smart Clothing Design Issues in Military Applications*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019 T.



- Ahram (Ed.): AHFE 2018, AISC 795, pp. 1–11, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94619-1_15
2. Gilsoo, C.: Smart Clothing: Technology and Applications. CRC Press, Boca Raton (2009)
 3. Tharion, W.J., Buller, M.J., Karis, A.J., Muller, S.P.: Acceptability of a wearable vital sign detection system. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society (2007)
 4. <https://www.baumer.com/ch/en/service-support/function-principle/function-of-strain-sensors/a/function-strain-sensors>
 5. <https://www.baumer.com/ch/en/service-support/function-principle/function-of-strain-sensors/a/function-strain-sensors>
 6. <https://safety.army.mil/ON-DUTY/Workplace/Personal-Protective-Equipment>
 7. G. Shaw, A.M. Siegel, T. Opar, *Warfighter physiological and Environmental Monitoring: A Study for the U.S. Army Research Institute in Environmental Medicine and the Soldier Systems Center*, Computer Sci



Capítulo 14 Co-diseño de actuadores basados en materiales sensoriales

Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina y Bodoga Alexandra, Gheorghe Asachi Technical University, Rumanía

Introducción

Para crear materiales con mayores prestaciones, se utilizan materiales sensoriales. Para identificar los materiales es necesaria una evaluación sensorial, además de sus especificaciones técnicas (resistencia, características de rendimiento, flexibilidad, elasticidad, comodidad) [1].

La **clasificación de las sensaciones** se presenta en la figura 14.1.

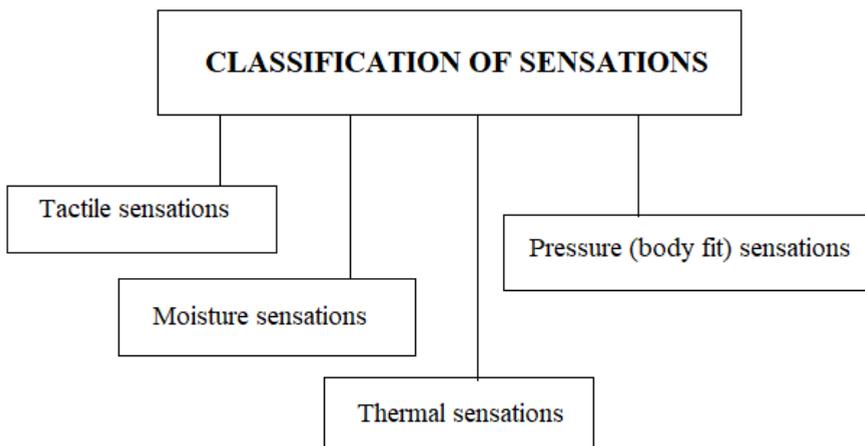


Figura 14.1 Clasificación de las sensaciones

Los principales factores que influyen en el confort sensorial del tejido son:

- Características de la fibra;
- Características del hilo;
- Características del tejido;
- Procesos de acabado, métodos y tipos de teñido.



Para obtener materiales textiles con diferentes características de confort sensorial, es necesario elegir, en primer lugar, la naturaleza de las materias primas.

El confort sensorial de un material textil puede mejorarse aplicando tratamientos químicos. Mediante estos tratamientos, se reduce la fricción fibra-fibra, obteniéndose un material con una textura especial [1].

El tipo de hilo (hilo simple, filamento continuo, texturizado, torsión, densidad lineal) es muy importante para la capacidad sensorial de los tejidos.

El grado de torsión de los hilos influye en las propiedades de flexión, rigidez y cizallamiento [2].

En la figura 14.2 se presentan los factores que influyen en el confort sensorial.

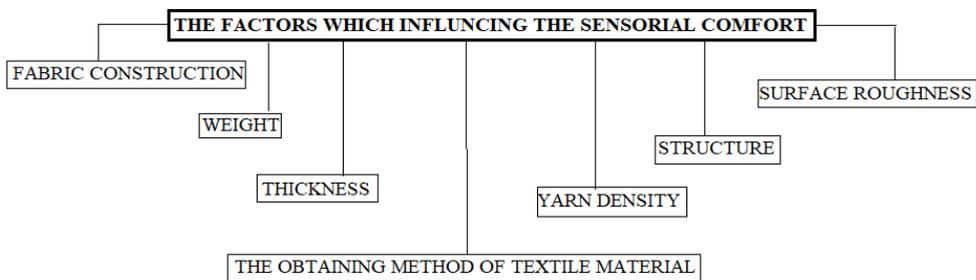


Figura 14.2 Los factores que influyen en el confort sensorial

Para reducir el coeficiente de fricción estática y dinámica, se aplican tratamientos de ablandamiento y rigidización.

Las propiedades del tejido que influyen en el confort sensorial

En el confort sensorial de los materiales textiles influyen sus propiedades superficiales (textura) y mecánicas (figuras 1.3 y 1.4).

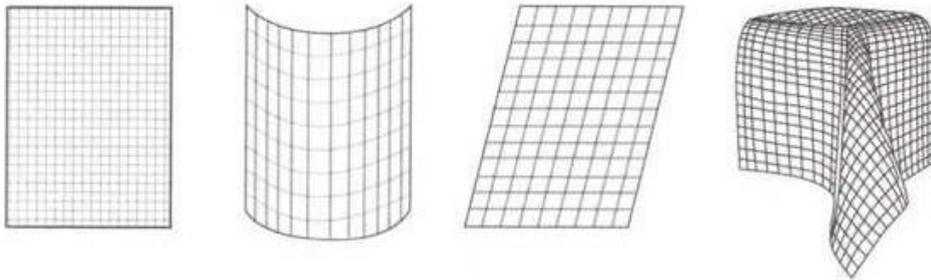


Figura 14.3 La deformación del tejido (Hu, 2004)

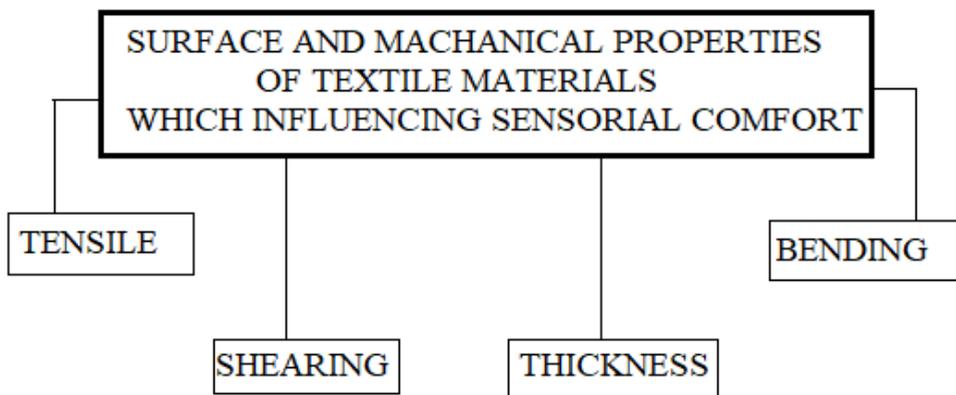


Figura 14.4 Los factores que influyen en el confort sensorial

Propiedades de tracción de los tejidos

La tracción es la más importante porque, independientemente del tipo de deformación, provocará cierto movimiento de las fibras y los hilos (Hu, 2004) [1].

Durante la extensión del tejido aparecen tres etapas:

1. La fricción entre fibras;
2. Orientación del hilo en la dirección de aplicación de la carga;



3. La curva de extensión de la carga debida a la extensión del hilo (figura 1.5) [4].

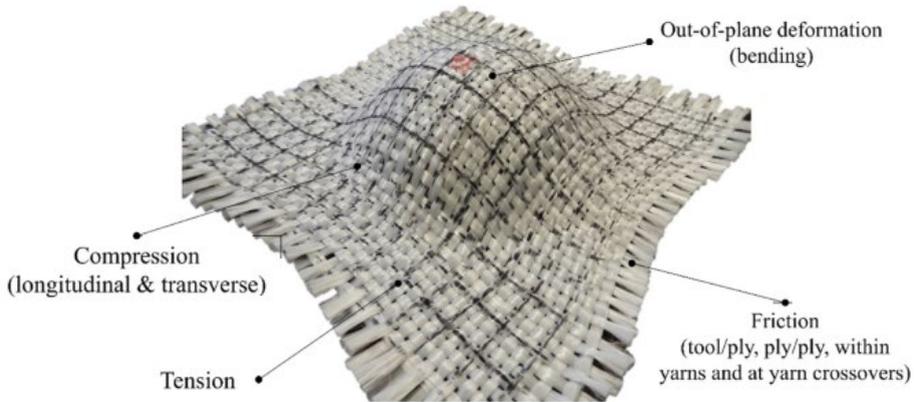


Figura 14.5 Propiedades del tejido

Las propiedades de flexión de un tejido (rigidez a la flexión e histéresis de flexión) vienen determinadas por los hilos y el tratamiento de acabado del tejido (Schwartz, 2008).

La rigidez a la flexión se define por la resistencia del material textil a la flexión (Pavlinić & Geršak, 2003).

Corte de tejido

Las propiedades de cizallamiento influyen en la capacidad de goteo, la maleabilidad y la manipulación de los tejidos (Schwartz, 2008).

Durante el uso de la ropa, debido a los movimientos del cuerpo, se produce una deformación por cizallamiento (Hu, 2004).

Espesor y compresión de tejidos

El principal factor que influye en la compresión es la estructura del tejido (Mukhopadyay et al., 2002).



En la ropa de vestir, el grosor de un tejido ofrece información sobre su aislamiento térmico, su pesadez o su rigidez.

Confort sensorial de los tejidos

Son muchos los atributos sensoriales del mango de los tejidos (cuadro 1).

Tabla 14.1 Atributos sensoriales de los tejidos

Stiffness/ crispness/ pliability/ flexibility/ limpness	Anti-drape/ spread/ fullness
Softness/ harshness/ hardness	Tensile deformation/ bending/ surface friction/ sheer
Thickness/ bulkiness/ sheerness/ thinness	Compressibility
Weight/ heaviness/ lightness	Snugness/ loosenes
Warmth/ coolness/ coldness (thermal characteristics)	Clinginess/ flowing
Dampness/ dryness/ wetness/ clamminess	Quietness/ noisiness
Prickliness/ scratchiness/ roughness/ coarseness/ itch iness/ tickliness/ stickiness/	Smoothness/ fineness/ silkiness
Looseness/ tightness	

En función del tipo de característica, los métodos de evaluación pueden ser objetivos o subjetivos.

Conclusiones

Los materiales sensoriales se caracterizan por su capacidad de autodetección y respuesta activa. Debido a sus capacidades adaptativas y sensoriales, estos materiales se utilizarán cada vez más para obtener productos de confección multifuncionales.

Para describir el tacto de los tejidos se pueden utilizar los siguientes términos [Norma ASTM D123 (2003)

- la flexibilidad se refiere a la facilidad de doblado;
- la densidad describe la masa/unidad de volumen;
- la elasticidad es la capacidad de recuperarse de la deformación;
- la compresibilidad consiste en la facilidad para apretar;
- la extensibilidad se refiere a la facilidad para estirarse;
- la superficie se caracteriza por la resistencia al deslizamiento;



-el contorno de la superficie: divergencia de la superficie con respecto al plano del tejido;

-el carácter térmico que se define por la diferencia de temperatura aparente entre el tejido y la piel.

El conocimiento fundamental de las relaciones entre la estructura y las propiedades de estos materiales es la clave del éxito en la obtención de nuevos productos multifuncionales.

Referencias

1. Gonca Özçelik Kayseri, Nilgün Özdil and Gamze Süpüren Mengüç, *Sensorial Comfort of Textile Materials*, <https://www.intechopen.com/chapters/36908>
2. Shanmugasundaram, 2008
3. Namligöz et al, 2008
4. Reza Sourki, Bryn Crawford, Reza Vaziri, Abbas S. Milani, *Orientation Dependency and Hysteresis Nature of Inter-Ply Friction in Woven Fabrics, Applied Composite Materials* volume 28, pages113–127 (2021)



Capítulo 15: Legislación nacional y europea sobre productos inteligentes, sensoriales y wearables

Veronica Guagliumi, Ciape, Italia

Recomendaciones de actuación

A partir del análisis de los factores impulsores y los obstáculos pueden formularse varias recomendaciones políticas que podrían contribuir a crear un entorno empresarial más favorable al desarrollo y la adopción de la tecnología ponible. Los empresarios que operan en el campo de la tecnología vestible podrían beneficiarse de un marco normativo más adaptado a sus necesidades, sobre todo en lo que respecta a las preocupaciones sobre la privacidad asociadas a la recogida y almacenamiento de datos personales por parte de los dispositivos vestibles. [1].

Además, la mejora de la regulación de los costes de itinerancia de los datos móviles podría conducir a una mayor adopción de la tecnología ponible. Por último, los responsables políticos podrían fomentar la integración de la tecnología ponible en los dispositivos médicos para promover su desarrollo y adopción. [2]

Adaptar el marco normativo a la tecnología ponible

Con el aumento del número de dispositivos personales, el almacenamiento y la privacidad de los datos son cada vez más importantes. Sin embargo, el marco regulador actual en Europa puede no estar preparado para gestionar los complejos problemas de privacidad que pueden surgir de estos avances. Las empresas y los organismos públicos pueden almacenar indefinidamente en nubes digitales los datos personales recogidos por los dispositivos de tecnología ponible para realizar análisis de patrones de los datos de los clientes [3]. [3] Aunque las compañías de seguros médicos recompensan a sus afiliados por utilizar dispositivos de tecnología ponible que mejoran la salud, también se presentan oportunidades para el uso indebido de los datos recogidos. La Directiva 95/46/CE relativa a la protección de los datos personales y su circulación debería reevaluarse para determinar si los datos recogidos a través de dispositivos ponibles están adecuadamente cubiertos por el marco normativo actual. Además, el creciente uso de la tecnología durante la conducción, incluidos los teléfonos inteligentes y los smartwatches, es una de las principales causas de distracción de los conductores y de accidentes evitables[4]. [4] Es necesario revisar las leyes y normativas para incluir el uso de dispositivos



portátiles durante la conducción, ya que incluso los dispositivos manos libres pueden reducir la capacidad del conductor para reaccionar ante situaciones inseguras en la carretera.

Es probable que la industria de la moda se vea afectada por el nuevo marco regulador del RGPD, a medida que los dispositivos portátiles y la ropa inteligente adquieran más importancia en los próximos años. Aunque algunos problemas de protección de datos son comunes a todas las empresas y dispositivos modernos, otros son exclusivos de los dispositivos portátiles. En particular, la gestión de los macrodatos de clientes y trabajadores [5] recopilados a través de estos dispositivos, la elaboración de perfiles y la actividad comercial dirigida a perfeccionar estos datos constituirán una cuestión importante en el futuro. Aunque este elemento no es exclusivo de la industria de la moda, la estrecha relación entre los datos y el individuo será un rasgo distintivo de la relación entre la moda y la seguridad de los datos. Por primera vez, la ropa del usuario servirá también como sensor, recopilando una gran cantidad de datos en tiempo real, lo que puede considerarse intrusivo y requerir una regulación legal. Hay que tener en cuenta la sensibilidad de los datos, no sólo por su valor comercial, sino también por su estrecha asociación con el individuo. El desarrollo de una política de seguridad y privacidad específicamente adaptada a la industria de la moda es cada vez más importante, al igual que lo es en otros sectores como la banca, los seguros, las telecomunicaciones y la administración pública.

La atención se centra en la aplicación de una política que pueda abordar eficazmente las violaciones de la seguridad de los datos. Esta política implicaría entender qué constituye una violación de datos, incluidos los fallos o debilidades internas que podrían causar la propagación incontrolada de datos.

Una vez detectada una violación, es esencial actuar con rapidez y facilitar información para evaluar la gravedad de la situación, al tiempo que se permite una comunicación transparente con las autoridades reguladoras y los clientes. También es fundamental limitar los daños, y una solución es utilizar datos anónimos o cifrados.

Es importante saber cómo gestionar los datos en toda la empresa, especialmente cuando se trata de analizar el comportamiento y las preferencias de los clientes en las interacciones en línea y fuera de línea. Las tecnologías móviles son especialmente relevantes, ya que los datos recogidos a través de ellas pueden



integrarse con la inteligencia artificial para ofrecer asesoramiento personalizado.
[7]

Aunque muchas casas de moda están contratando a científicos de datos para analizar estos datos, es necesario centrarse en la contratación de profesionales jurídicos y de ciberseguridad. El reto es que la verdadera anonimización es cada vez más difícil, ya que las tecnologías vestibles recopilan datos íntimos relacionados con el comportamiento y la salud de la persona, lo que las convierte en una herramienta sin precedentes para el potencial publicitario. [8]

Regulación de los costes de itinerancia

Para aumentar el uso de dispositivos portátiles con conectividad móvil a Internet, es crucial reducir las tarifas de itinerancia en la Unión Europea (UE) y otras partes del mundo. Según los informes, los proveedores de redes obtienen grandes beneficios, con márgenes de hasta el 90%[9]. [9] Para abordar este problema, la Comisión Europea ha puesto en marcha la limitación de la Eurotarifa, que ha permitido reducir en un 80% los precios de las llamadas telefónicas, los SMS y los datos desde 2007. El Parlamento Europeo también ha votado la prohibición total de las tarifas de itinerancia a partir de diciembre de 2015[10]. [10] A pesar de estas medidas, es necesario seguir presionando a los proveedores de telecomunicaciones para que ajusten las tarifas globales de itinerancia.

Fomento de la integración de la tecnología ponible en los dispositivos médicos

Los sistemas sanitarios de todo el mundo se enfrentan a importantes retos debido al aumento de los costes y la demanda, unido a los avances en el tratamiento de afecciones complejas. La parte cada vez mayor del PIB [2] que se destina a la sanidad es insostenible, y la tecnología puede ser la solución más viable para afrontar este reto. Los responsables políticos pueden promover la integración de la tecnología vestible en los dispositivos médicos, permitiendo a los empresarios pasar de suministrar electrónica de consumo a dispositivos médicos regulados que proporcionen datos precisos y puedan integrarse en los historiales médicos de los pacientes [3]. Los responsables políticos también pueden fomentar las demostraciones del valor de la tecnología ponible en los dispositivos médicos para convencer a los proveedores sanitarios y a las aseguradoras de las ventajas que ofrecen. Sin embargo, el marco regulador debe ser lo bastante flexible para fomentar la innovación rápida y, al mismo tiempo, salvaguardar la salud pública, y las afirmaciones realizadas por los proveedores de wearables o los desarrolladores



de aplicaciones deben examinarse a fondo, ya que solo una pequeña proporción de las aplicaciones sanitarias que afirman tratar o curar problemas médicos han sido probadas o aprobadas clínicamente [11].

Conclusiones

La primera conclusión extraída es que es crucial procesar los datos de forma que se mantenga el anonimato. El segundo aspecto clave es el cifrado de datos, que es la herramienta tecnológica más eficaz para salvaguardar los datos recopilados, especialmente cuando se comunica con empresas de moda a través de dispositivos wearables. El GDPR y otras normas subrayan la importancia de proteger a los clientes que utilizan este tipo de dispositivos. Además, Allday identifica cuatro áreas de interés que conectan los dispositivos portátiles, las mejores prácticas de ciberseguridad y el GDPR. La primera es garantizar que los miembros del personal sepan qué constituye una violación de datos y cómo prevenirla y notificarla [12]. La segunda área es invertir en la gestión de las relaciones con los clientes para proporcionar un punto de contacto humano para los clientes con preguntas y mantener el compromiso. Las violaciones de datos se consideran la amenaza más importante para los datos de los dispositivos wearables, y es esencial tomar medidas para prevenirlas.

El segundo aspecto tratado en este contexto trata sobre la protección de los datos del consumidor, que también se destaca en muchas normativas y requisitos del GDPR. Es crucial ser transparente con los clientes sobre sus derechos, cómo solicitar más información y cómo hacer que se eliminen sus datos. La transparencia y la honestidad son esenciales para conservar la lealtad de los clientes y garantizar su seguridad en Internet, especialmente a la luz de escándalos pasados como los de Cambridge Analytica y Facebook. También es importante responder con prontitud a todas las solicitudes de datos de los clientes, en particular las solicitudes de eliminación de información. Por último, el marketing y la publicidad en las redes sociales deben centrarse en ofrecer contenidos personalizados que atraigan a clientes individuales sin comprometer sus datos ni explotarlos. Es importante equilibrar la necesidad de proteger los datos con la necesidad de procesarlos.



Referencias

1. PwC, 2014, The Wearable Future, Consumer Intelligence Series, Available at: http://www.pwc.com/es_MX/mx/industrias/archivo/2014-11-pwc-the-wearable-future.pdf [Accessed on 20 December 2014].
2. MD+DI, 2015, Wearable Tech Regulated as Medical Devices Can Revolutionize Healthcare, Available at: [Wearable Tech Regulated as Medical Devices Can Revolutionize Healthcare \(mddionline.com\)](#)
3. Business Innovation Observatory case study 46 on Smart Health, ef. Ares (2015)4620622 - 27/10/2015: Diederik Verzijl & Kristina Derojeda, PwC Netherlands and Laurent Probst & Laurent Frideres, PwC Luxembourg.
4. Smartwatches are a bigger distraction to drivers than mobile phones - Pierre-Majorique Léger, HEC Montréal and Sylvain Senecal, RSC College of New Scholars, HEC Montréal May 19, 2021.
5. (Allery 2019) Allery, Charlotte 2019. Wearable Technology in the Workplace and Data Protection Law, retrieved from ComputerWeekly.com, February.
6. Ziccardi, G., 2020. Werable technologies and smart clothes in the fashion business: some issues concerning cybersecurity and data protection. *Laws*, 9(2), p.12.
7. Luce, Leanne. 2019. Artificial Intelligence for Fashion: How AI is Revolutionizing the Fashion Industry. San Francisco: Apress.
8. Kamarinou, Dimitra, Millard Christopher, and Singh Jatinder. 2016. Machine Learning with Personal Data. Queen Mary School of Law Legal Studies Research Paper No. 247/2016. Amsterdam: Elsevier.
9. eWeek, 2015, -Mobile eSIM Cuts Data Roaming Fees for Connected Devices, Michelle Maisto - February 18, 2014.
10. European Commission, 2015, Mobile roaming costs, [End of roaming charges: Council confirms agreement with EP - Consilium \(europa.eu\)](#)
11. Many health apps are based on flimsy science at best, and they often do not work By Rochelle Sharpe | New England Center for Investigative Reporting - November 12, 2012.
12. (Allday 2018) Allday, Florence 2018. Is the Fashion Industry ready for GDPR? London: Euromonitor International. Available online: <https://blog.euromonitor.com/fashion-industry-ready-gdpr/> (accessed on 25 May 2018).



Capítulo 16: Análisis sintético -textil, sensores, wearables

Ioannis Chronis, Georgios Priniotakis, Athanasios Panagiotopoulos UNIWA, Grecia

Introducción

Los textiles inteligentes son un nuevo sector que parece alcanzar su fase de madurez. Hasta ahora, el sector se ha orientado a la explotación de los avances en electrónica y comunicación, sin conseguir sin embargo integrarlos en un producto que cumpla los requisitos de un textil. Los prototipos son cada vez más "textiles", gracias al desarrollo de nuevos materiales textiles conductores y/o con funciones inherentes.

Análisis de textiles inteligentes

Los wearables son prendas o accesorios del cuerpo humano que pueden ejecutar alguna función. En este aspecto, el modelo de un wearable textil debe ser una integración de una prenda o accesorio, con el modelo clásico de un sistema de automatización también es válido:

- Dispositivos de entrada de señales: sensores
- Procesamiento de entrada (datos) microcontrolador, PCB, smartphone.
- Señal Salida: actuadores, LED's, pantallas, entrada (Señal) a una aplicación de software.
- Almacenamiento de datos: smartphone, la nube a través de una app
- Comunicación entre las piezas: electrónica, inalámbrica, óptica
- Fuente de alimentación: batería, paneles fotovoltaicos, cinética, triboléctrica

Todas las partes anteriores deben integrarse a la perfección, en la medida de lo posible. De hecho, la evolución de los textiles inteligentes se divide en tres categorías, en función del nivel de integración de las piezas en el producto. En la primera y segunda generación de textiles inteligentes, se trataba de prendas sencillas con materiales activos discretos o electrónica convencional adherida a la prenda. El tejido debía poder ser el sustrato que albergara las demás piezas, o al menos algunas de ellas. Esta configuración ha dado algunos productos como la chaqueta Iconic Levi's® Trucker [1] y varios productos para la recolección de datos biométricos (chalecos inteligentes), pero no realmente ninguna historia de éxito. Otra tecnología bastante exitosa y típica de esta generación, han sido los ecosistemas de Arduino [2] y Adafruit [3]: Pequeñas CPUs (placas) y sensores, fácilmente programables en un sencillo Entorno de Desarrollo Integrado (IDE).



La tercera generación parece prometedora, una en la que los componentes funcionales se integran perfectamente en la prenda.

Es cierto que hasta ahora no existe un mercado para los textiles inteligentes. Un análisis del ciclo de vida de la tecnología y del método de análisis de redes realizado por Qian Xu et al. [4] a partir de datos de patentes, ha revelado que la convergencia tecnológica en los textiles inteligentes alcanzará su punto álgido en 2030, lo que significa que el sector está llegando a su fase de madurez. Además, este estudio presenta los principales sectores tecnológicos implicados en los textiles inteligentes: la electrónica (el sector líder), la ingeniería mecánica y química, la informática y el diseño de productos.

En los prototipos y productos recientes, muchas de las partes anteriores han sido sustituidas por el teléfono inteligente, dado que puede proporcionar el almacenamiento de datos y el elemento de procesamiento de datos, así como la pantalla como dispositivo de salida.

En los wearables se da una incompatibilidad fundamental: deben ser flexibles como las prendas de vestir, pero la electrónica es dura. Esto afecta sobre todo al aspecto estético, ya que dan una imagen de prenda extraña. También tiene que ver con la comodidad del artículo. La solución a este problema puede ser el diseño y fabricación de piezas electrónicas textiles, o la fijación de micro (o incluso nano) electrónica en el sustrato textil. Ambas opciones se han aplicado en prototipos y productos y ambas pueden dar resultados prometedores, pero el problema de la falta de métodos de producción en serie aún no está resuelto.

Heitor Luiz Ornaghi Junior et al. [5], ofrecen una visión completa de los métodos y materiales que se han aplicado en la fabricación de productos textiles inteligentes. Según este trabajo, las principales categorías de fabricación son:

- uso de hilos textiles conductores
- tejido y punto
- acabado del textil, en el que se incorpora una capacidad específica al textil después de su fabricación.

Las principales categorías de tejidos inteligentes son:

- Tejidos inteligentes que cambian de color
- Tejidos para el control de la temperatura



- Tejidos con memoria de forma
- Tejidos electrónicos

Un modelo de diseño para textiles inteligentes

Los atributos que se exigen al wearable son comodidad, protección, duración, lavabilidad y estética/moda. Sin embargo, para diseñarlos se necesitan muchos más requisitos.

El modelo de diseño de un wearable es bastante complicado, pero aún no está establecido. Un buen modelo es el propuesto por Francés-Morcillo et al, [6], que consolida los requisitos de diseño en un modelo de rueda de 9 grupos, introduciendo los requisitos de ergonomía e interacción con el usuario además de los físicos, que es el aspecto novedoso de este modelo. El modelo de rueda se muestra en la imagen 16.1. Sin embargo, debemos mencionar que lo que falta en este modelo es el nuevo aspecto del ecodiseño, cada vez más importante y que tarde o temprano será un requisito obligatorio para los wearables, así como para la electrónica y las prendas de vestir.

El modelo de rueda también carece de otro requisito de diseño, que es la fabricabilidad. Se trata de un aspecto muy importante, porque está relacionado con la comercialización de textiles inteligentes, que todavía no es una realidad. Se necesitan métodos de producción automatizados que permitan la producción en masa, a un coste asequible y con fiabilidad. Es muy probable que las nuevas técnicas de producción textil, como el tricotado 3D y la impresión 3D, se impongan a las convencionales a corto plazo, pero en cualquier caso, el producto debe diseñarse en consecuencia y deben desarrollarse materiales adecuados (hilos conductores flexibles y ligeros). Hasta ahora, y según nuestros conocimientos, los esfuerzos por crear nuevos materiales innovadores se centran en las nuevas funciones y el confort, y se descuida el elemento de la fabricabilidad. Esta es la razón por la que los textiles inteligentes no existen más allá del nivel de preparación tecnológica 2, que son prototipos en esencia [7].

Está claro que esto exige un equipo de diseño multidisciplinar. Hasta ahora, las prendas son diseñadas por diseñadores de moda, centrándose en el coste, la estética y la comodidad. Por otro lado, los textiles son diseñados por ingenieros que tienen como objetivo la funcionalidad y la fiabilidad de la función. La distancia entre estos dos equipos de diseñadores se describe muy bien con el término "United Intention with Divided Focus" de Rebecca R. Ruckdashel, et al. [7].



Por ejemplo, Natascha M. van der Velden et al. [8] destacan la importancia de la selección de materiales, y sugieren el uso del cobre para los conductores y del acrílico para el sustrato, frente a la plata y el acrílico respectivamente, como ejemplos de materiales con un impacto medioambiental reducido y un carácter más respetuoso con el medio ambiente.

Conclusiones

Un análisis sintético de los textiles inteligentes revela que no existe un paradigma establecido de diseño y fabricación. El sector está impulsado por los importantes avances disponibles en materiales y tecnologías inteligentes, pero también se ve limitado por la suerte de una integración eficiente en un producto textil. Los textiles electrónicos pueden ser una solución a este problema, siempre que también se disponga de tecnologías de fabricación y producción en serie.



Figure 3. Wearable design requirements wheel model.

Figura 16.1 Modelo de rueda de requisitos para el diseño de wearables [6]



Referencias

1. Jacquard, available by <https://atap.google.com/jacquard/>, accessed 3/4/2023.
2. Arduino, 2023, available by <https://www.arduino.cc/>, accessed 3/4/2023.
3. Adafruit, 2023, <https://www.adafruit.com/>, accessed 3/4/2023.
4. Xu, Q.; Yu, Y.; Yu, X., 2022, Analysis of the Technological Convergence in Smart Textiles. *Sustainability* 2022, 14, 13451. <https://doi.org/10.3390/su142013451>.
5. Júnior, Heitor Luiz Ornaghi, Roberta Motta Neves, Francisco Maciel Monticeli, and Lucas Dall Agnol. 2022. "Smart Fabric Textiles: Recent Advances and Challenges" *Textiles* 2, no. 4: 582-605. <https://doi.org/10.3390/textiles2040034>.
6. Francés-Morcillo, Leire, Paz Morer-Camo, María Isabel Rodríguez-Ferradas, and Aitor Cazón-Martín, 2020. "Wearable Design Requirements Identification and Evaluation" *Sensors* 20, no. 9: 2599. <https://doi.org/10.3390/s20092599>.
7. Ruckdashel, Rebecca R., Ninad Khadse, and Jay Hoon Park. 2022. "Smart E-Textiles: Overview of Components and Outlook" *Sensors* 22, no. 16: 6055. <https://doi.org/10.3390/s22166055>.
8. Natascha M. van der Velden, Kristi Kuusk, Andreas R. Köhler, 2015, Life cycle assessment and eco-design of smart textiles: The importance of material selection demonstrated through e-textile product redesign, *Materials & Design*, Volume 84, 2015, Pages 313-324, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.129>.



Capítulo 17: Dinámica del mercado de los textiles inteligentes basados en la electrónica

Veronica Guagliumi, Ciape, Italia

Potenciales de mercado

El crecimiento del mercado de los textiles inteligentes está impulsado por la tendencia a la miniaturización de la electrónica y la creciente integración de los textiles inteligentes con los dispositivos para llevar puestos. En los ámbitos de la salud y el deporte, los textiles inteligentes se utilizan cada vez más para controlar las vibraciones musculares, regular la temperatura corporal y proteger contra riesgos. El desarrollo de componentes electrónicos compactos, como sensores, baterías y paneles de control, también ha facilitado la integración de los textiles inteligentes en los dispositivos wearables y electrónicos. Además, el sector de la defensa está introduciendo más productos, lo que también contribuye al crecimiento del mercado. (1)

Se espera que los dispositivos sanitarios vestibles, que permiten a los consumidores hacer un seguimiento de la información sanitaria vital tanto dentro como fuera de los hospitales, sigan siendo un sector importante favorecido por la conectividad celular. (2)

Se prevé que el mercado de textiles inteligentes alcance los 30 450 millones de dólares en 2029, con una tasa de crecimiento anual del 28,4 %, especialmente en el segmento de textiles activos/ultrainteligentes. (3)

El sector textil inteligente norteamericano dominó el mercado en 2021, impulsado por la fuerte demanda de diversos sectores, como el militar y de protección, la sanidad, el fitness y el deporte, especialmente en Estados Unidos. La región alberga a los principales fabricantes de textiles inteligentes, como DuPont (Estados Unidos), Gentherm (Estados Unidos), Sensoria (Estados Unidos), Alphabet (Estados Unidos) y Jabil (Estados Unidos), que contribuyen activamente al crecimiento del mercado. Grandes empresas como Google, Apple, Samsung, Qualcomm y Microsoft ya participan activamente en el sector de las tecnologías para llevar puestas, sobre todo en la industria de la salud y el fitness. Con la evolución actual del sector, se prevé que el segmento de las tecnologías para llevar puestas se caracterice por una intensa competencia. Un estudio reciente de ABI Research muestra que el número de wearables distribuidos en todo el mundo en 2020 alcanzó los 259,63 millones, con 112,15 millones de dispositivos de seguimiento deportivo, de fitness y de



bienestar, y 74,30 millones de smartwatches. El mercado de auriculares inalámbricos, que es el principal accesorio inteligente, alcanzó los 502,7 millones de envíos a finales de 2021 y se espera que supere los 700 millones en 2026, con una CAGR del 7,6%. (4)

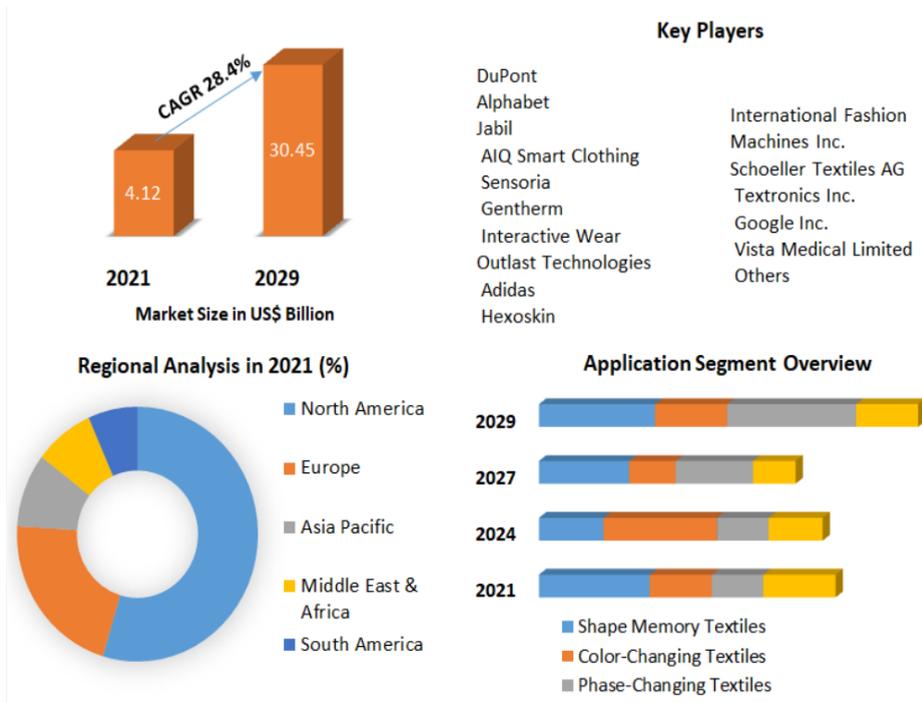


Figura 17.1 Mercado mundial de textiles inteligentes - Maximizar la investigación de mercadoPVT. LTD. (2)

Potenciales sociales

Los dispositivos vestibles tienen una serie de ventajas socioeconómicas que abarcan diferentes sectores. Por ejemplo, estos dispositivos pueden utilizarse como herramientas de formación para facilitar la incorporación de nuevos empleados. En el sector minorista, los wearables pueden mejorar los servicios de venta aumentando la rapidez de las compras, mientras que en la industria manufacturera pueden apoyar el proceso de producción proporcionando herramientas de orientación gratuitas. Los dispositivos vestibles también pueden mejorar la precisión de la información y racionalizar los procedimientos en la atención sanitaria, acelerar los ensayos clínicos y reducir los costes médicos cuando se utilizan junto con equipos de fitness y los incentivos adecuados para animar a los



usuarios a hacer ejercicio. Todos estos ejemplos ponen de manifiesto los beneficios que la tecnología para llevar puesta puede reportar tanto a las empresas como a los usuarios.

También se espera que la adopción generalizada de los wearables cree nuevas oportunidades de empleo. Un estudio realizado por Wanted Analytics reveló que en mayo de 2014 había 1.018 anuncios de empleo relacionados específicamente con la tecnología ponible, lo que supone un aumento del 150% en comparación con mayo de 2013. La demanda de expertos en tecnología ponible procedía principalmente de empresas con sede en Estados Unidos, siendo Intel la que más anuncios de empleo relacionados con esta tecnología tenía. Nike, Zoll y Microsoft también se encontraban entre las empresas con mayor demanda de candidatos cualificados en tecnología ponible. La encuesta reveló que la mayoría de las ofertas de empleo eran para desarrolladores de software y web, directores de marketing e ingenieros eléctricos. Actualmente, los directores de marketing con experiencia en wearables son los más solicitados y relativamente difíciles de contratar en comparación con los desarrolladores de software y los ingenieros eléctricos. (6)

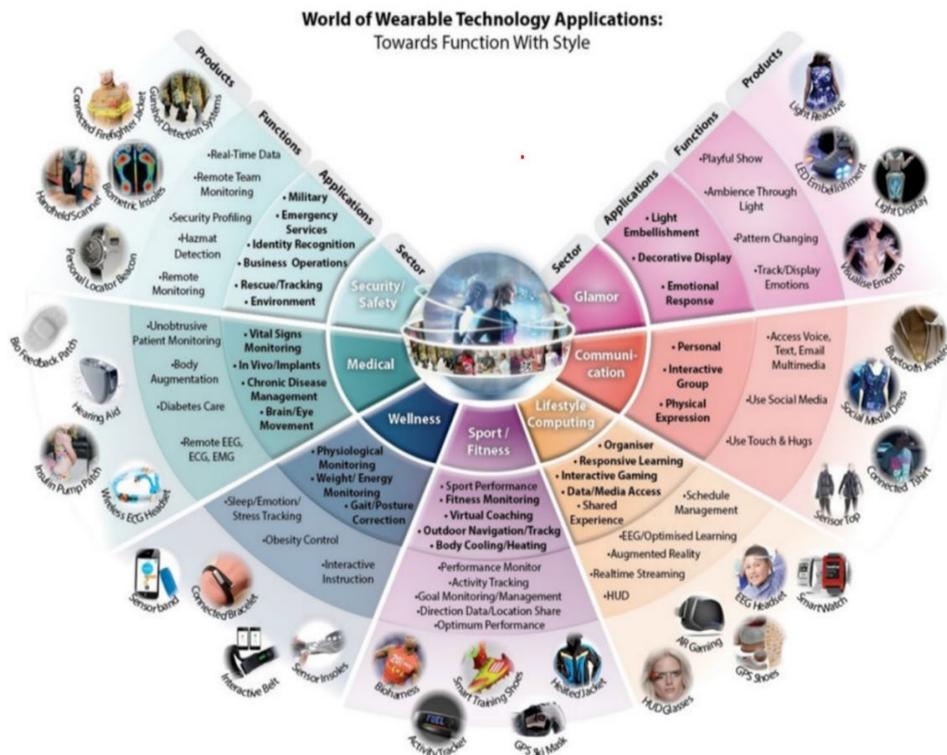




Figura 17.2 Aplicaciones de la tecnología vestible en el mercado de consumo - Beecham Research Ltd. (5)

La integración de la tecnología ponible está impulsando la innovación en sectores tradicionales como la moda y la joyería. En el pasado, el objetivo principal de la joyería era la belleza, mientras que la funcionalidad solía pasarse por alto. Sin embargo, con la aparición de dispositivos portátiles como las pulseras de fitness Jawbone y las gafas con Wi-Fi GlassUp, la joyería tradicional se enfrenta a la competencia. Aunque no está claro si los smartwatches sustituirán por completo a los relojes tradicionales, es evidente que tanto los fabricantes de relojes tradicionales como nuevos actores como Apple se disputan un puesto en las muñecas de los consumidores. (7)

Por eso, para competir, las empresas deben desarrollar estrategias eficaces, como incorporar la tecnología ponible a sus productos o primar la funcionalidad sobre la estética. (8)

La convergencia de la moda, la joyería y la tecnología ponible también podría dar lugar a nuevas asociaciones entre fabricantes de moda y joyería y proveedores de tecnología ponible. Por ejemplo, Nike ya ha creado una línea de ropa deportiva que integra tecnología ponible, permitiendo la interacción con teléfonos inteligentes y reproductores MP3.

Dinámica de la cadena de valor

La cadena de valor de los textiles inteligentes comprende tres industrias, a saber, la textil, la de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) y la electrónica, cada una con agentes diferentes. Por lo tanto, las asociaciones intersectoriales son esenciales para combinar conocimientos y estrategias. Las empresas textiles suelen carecer de conocimientos especializados en electrónica, lo que dificulta su participación activa en la expansión de la industria textil inteligente.

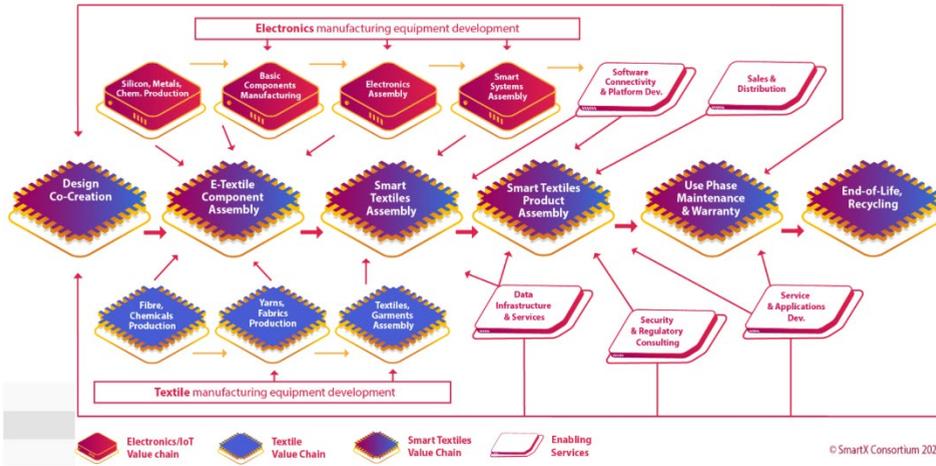


Figura 17.3 Cadena de valor textil inteligente. Consorcio SmarteX 2021 (9)

Los socios de SmarteX Europe han desarrollado un mapa completo de la cadena de valor de los textiles inteligentes, como se muestra en la figura 17.3. Esta cadena de valor intersectorial incluye componentes de hardware, software, textiles y productos finales. Esta cadena de valor intersectorial incluye los componentes de hardware, software, textil y producto final. Los dispositivos o sistemas inteligentes se crean combinando productos textiles inteligentes con software adicional. Estos dispositivos forman parte de una "red inteligente" más amplia que consiste en dispositivos inteligentes interconectados que utilizan datos almacenados en la nube para la seguridad, el análisis de datos y el procesamiento. Estas redes y dispositivos se integran después en "aplicaciones inteligentes". (9)

Se espera que el mercado de los wearables crezca rápidamente, con un gasto estimado de 21.500 millones de euros en compuestos y materiales para tecnología wearable de aquí a 2025. (10)

Las empresas que quieran ganar mayores cuotas de mercado tendrán que desarrollar nuevos diseños que ofrezcan las ventajas de unos dispositivos más pequeños, flexibles y cómodos, que puedan llevarse discretamente o incluso implantarse, fabricados con materiales transparentes o diseñados para un uso desechable. La capacidad de recoger y almacenar energía también será una consideración importante en los futuros diseños de dispositivos portátiles. A lo largo de la cadena de valor, la relación entre los fabricantes de soluciones de productos y los proveedores de servicios está teniendo un impacto significativo en la industria. Por ejemplo, los retrasos en el lanzamiento de Google Glass y su



ecosistema de aplicaciones llevaron a muchos desarrolladores de aplicaciones a abandonar sus proyectos y buscar alternativas como GlassUp. (11)

La dinámica de la cadena de valor también puede indicarse por la interconexión entre los proveedores de redes de datos móviles y de soluciones de productos. A diferencia de los teléfonos inteligentes, los fabricantes de productos para llevar puestos o los proveedores de servicios suelen integrar en sus soluciones prestaciones de red para servicios de datos móviles. En consecuencia, los proveedores de soluciones y los de redes negocian el precio de la transferencia de datos. Yepzon, la empresa finlandesa responsable del dispositivo wearable de seguimiento de niños, es un buen ejemplo de ello. Gracias a la tecnología máquina a máquina (m2m) (12), Yepzon gestionará las suscripciones de sus productos en todos los mercados, lo que permitirá al Grupo Yepzon entrar en nuevos mercados y gestionar importantes volúmenes de suscripciones a través de una única interfaz de usuario. La plataforma también permite a Yepzon ofrecer un único dispositivo interconectado que funcionará en EE.UU., Rusia y toda Europa. Además, las dos mayores plataformas de aplicaciones, Android e iOS, compiten por convertirse en la principal plataforma de creación de aplicaciones, al igual que ocurrió con los mercados de tabletas y dispositivos móviles. Dado que la demanda de un gadget wearable depende en parte de las aplicaciones que funcionarán con él, este poder repercute en los agentes de los eslabones anteriores y posteriores de la cadena de valor.

Referencias:

1. Smart Textiles Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022 - 2027 - imarcgroup.com.
2. ABI Research 5G wearable devices and accessories will enter the market by 2023, though attach rates to remain low until 2026 – Jan 2022.
3. Smart Textile Market: Global Challenges, Market Analysis and Forecast 2029 - www.maximizemarketresearch.com.
4. SABI Research - Mobile Accessories and Wearables Market Share and Forecasts – 10 Dic 2021.
5. Beecham Research Ltd. & Wearable Technologies AG, 2013.
6. Wanted Analytics, 2015, Demand for Wearable Technology Skills Grows, Available at: <https://www.wantedanalytics.com/analysis/posts/demand-for-wearable-technology-skills-grows> [Accessed on 6 January 2015].
7. Business Innovation Observatory – Internet of Things – Wearable Technologies Case Study 44 - Fabian Nagtegaal, Diederik Verzijl & Kristina Dervojeđa, PwC Netherlands, and Laurent Probst, Laurent Frideres & Bertrand Pedersen, PwC Luxembourg – European Union, February 2015.



8. New York Times, 2015, Jewellers enter the wearable technology market.
9. Smart Textile Value Chain: A Roadmap - SmartX the European Smart Textiles Accelerator, 2021.
10. IDTechEx, Wearable technology: a materials goldmine, Dr Peter Harrop, 2015.
11. TECH2, As Google Glass launch postponed to 2015, app developers losing interest, 2014.
12. Teliosonera, Wearable technology developer chose Teliosoneras m2m solution, 2014.



Capítulo 18: Dinámica del mercado de los textiles sensoriales

Veronica Guagliumi, Ciape, Italia

Evolución reciente de las prendas inteligentes

La dinámica de la cadena de valor también puede indicarse por la interconexión entre la red de datos móviles y los proveedores de soluciones de productos. A diferencia de los teléfonos inteligentes, los fabricantes de productos para llevar puestos o los proveedores de servicios suelen integrar en sus soluciones prestaciones de red para servicios de datos móviles. En consecuencia, los proveedores de soluciones y los de redes negocian el precio de la transferencia de datos. Yepzon, la empresa finlandesa responsable del dispositivo wearable de seguimiento de niños, es un buen ejemplo de ello. Gracias a la tecnología máquina a máquina (m2m) (12), Yepzon gestionará las suscripciones de sus productos en todos los mercados, lo que permitirá al Grupo Yepzon entrar en nuevos mercados y gestionar importantes volúmenes de suscripciones a través de una única interfaz de usuario. La plataforma también permite a Yepzon ofrecer un único dispositivo interconectado que funcionará en EE.UU., Rusia y toda Europa. Además, las dos mayores plataformas de aplicaciones, Android e iOS, compiten por convertirse en la principal plataforma de creación de aplicaciones, al igual que ocurrió con los mercados de tabletas y dispositivos móviles. Dado que la demanda de un gadget wearable depende en parte de las aplicaciones que funcionarán con él, este poder repercute en los agentes de las fases anterior y posterior de la cadena de valor.

El proyecto PROeTEX ha creado prendas inteligentes avanzadas de E-Textile que monitorizan los parámetros fisiológicos de los trabajadores en situaciones de emergencia. Se desarrollaron tres prototipos: una prenda interior (IG), una prenda exterior (OG) y un par de botas. La IG mide la frecuencia cardiaca, el movimiento respiratorio, el sudor, la deshidratación, los electrolitos, los indicadores de estrés, el oxígeno, el dióxido de carbono y la temperatura interna, mientras que la OG y las botas miden la actividad, el entorno químico y la temperatura exterior. El PEB, alojado en el OG, recoge todos los datos y los transmite por Wi-Fi a una estación de trabajo de coordinación local mediante dos antenas textiles y una placa de PC integrada. En caso de peligro grave, se envía una alarma inmediata a los responsables de la intervención. [1] La vigilancia del sistema cardiorrespiratorio de los niños también está cobrando importancia, y se están desarrollando prendas específicas para recién nacidos y jóvenes. [2]

La aparición de la tecnología 5G permite un uso más sistemático de sensores vestibles y ropa sensorizada para aplicaciones de telemedicina y deporte, como la camiseta inteligente Astroskin. [3]

5G permite la recopilación simultánea de datos de múltiples sensores y la capacidad de ampliar las soluciones a grandes grupos sin degradación del rendimiento, siendo la arquitectura de dos saltos un diseño típico para un sistema de telemonitorización habilitado para 5G. [4] Cómo se muestra en la figura 18.1.

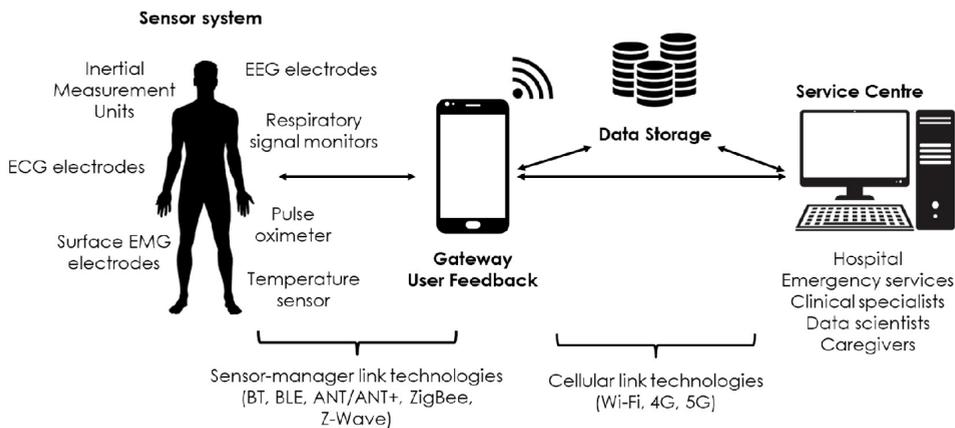


Figura 18.1 Sistema de televigilancia con una arquitectura de transmisión de datos de dos saltos. [5]

Las tecnologías eléctricas epidérmicas flexibles ofrecen una alternativa prometedora a los electrodos de tejido tradicionales debido a su gran transparencia y resistencia a la deformación mecánica[6]. [Estas propiedades los hacen idóneos para la monitorización continua y a largo plazo de señales fisiológicas esenciales, como la frecuencia cardíaca, la presión del pulso, la temperatura, el flujo sanguíneo y el oxígeno en sangre, durante las actividades cotidianas.

Prendas sensorizadas

La ropa puede clasificarse en cinco áreas en función de su ámbito de uso, entre las que se incluyen la ropa para:

- Atención sanitaria, para controlar trastornos de salud.



- Deporte, para el seguimiento del rendimiento atlético durante entrenamientos o competiciones y el control de marcadores fisiológicos.
- Fitness, para educar a los clientes normales y proporcionarles un mejor conocimiento de su bienestar general.
- Social, para ayudar a los usuarios en actividades recreativas.
- Trabajo, para mejorar el rendimiento y proporcionar asistencia en materia de seguridad cuando los usuarios realizan actividades relacionadas con el trabajo.

Las prendas ponibles del mercado se centran principalmente en la asistencia sanitaria, el deporte y la forma física, aunque hay algunos ejemplos de componentes sensores utilizados en la cabeza y las extremidades inferiores. La arquitectura del sistema incluye subsistemas como la interconexión y el software, el control, la comunicación, la localización, la alimentación, el almacenamiento, la visualización, la detección y el actuador. Las unidades de sensores y actuadores pueden ser no textiles e integrarse en la placa electrónica, o pueden ser textiles y conectarse a la placa electrónica. [7]

Los datos de los sensores corporales se transmiten a un asistente digital personal (PDA) a través de nodos de comunicación de corto alcance como ANT+, NFC o Bluetooth. El PDA, que dispone de algoritmos de almacenamiento y procesamiento de datos, puede ser un smartphone, un ordenador o una FPGA. Los datos pueden enviarse a un servidor médico remoto a través de otro nodo de conexión. [8]

Las tecnologías textiles se están utilizando en varias categorías de ropa, con ejemplos en las categorías de salud y deporte/fitness. Un ejemplo son las prendas inteligentes Hexoskin de Carré Technologies Inc. de Montreal (Canadá).

Estas cómodas prendas para hombres, mujeres y niños llevan incorporados sensores textiles para una monitorización precisa y continua de los datos cardiacos, respiratorios y de actividad y sueño. El electrocardiógrafo informa de parámetros como la frecuencia cardiaca, la variabilidad de la frecuencia cardiaca, la monitorización del estrés y la evaluación de la fatiga, mientras que la ventilación respiratoria se mide continuamente con sensores de pletismografía de inductancia respiratoria torácica y abdominal. Las prendas también realizan un seguimiento de la intensidad de la actividad, la aceleración máxima, los pasos, la cadencia, las posiciones y el sueño con un acelerómetro de 3 ejes. [9] El dispositivo inteligente Hexoskin, una camiseta comercial fabricada con electrodos textiles, recoge un ECG



de una sola derivación y cuenta con sensores de respiración y movimiento, con una batería de más de 36 horas de duración y recargable con un cable USB. El chaleco que la acompaña es de tejido de punto antibacteriano, protector contra los rayos UV, de secado rápido, transpirable, antiolor y lavable. El dispositivo Hexoskin puede conectarse a la aplicación Hexoskin a través de Bluetooth, lo que permite al usuario visualizar, gestionar e interpretar los datos recogidos. Los datos también pueden visualizarse en el panel de control en línea de Hexoskin, mientras que los profesionales sanitarios, investigadores y técnicos pueden utilizar el software de análisis VivoSense para importar/exportar datos, realizar procesamientos por lotes y crear gráficos adecuados para su publicación. [10]

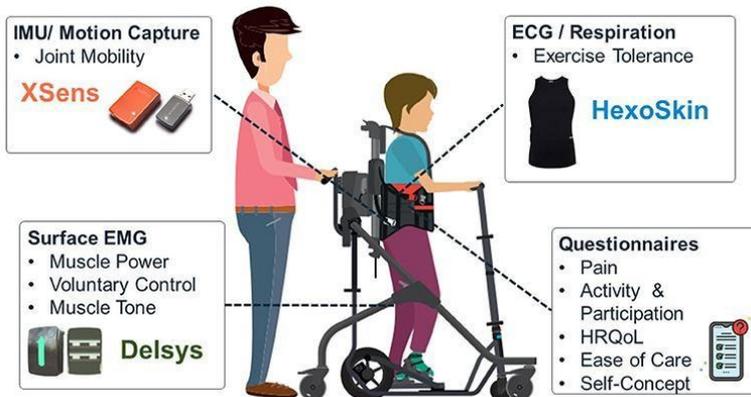


Figura 18.2 Ámbitos de interés priorizados por el usuario y tecnología de sensores seleccionada [11].

El segundo ejemplo ilustra a Sensoria, una empresa que ofrece productos diseñados para ayudar a los corredores profesionales y aficionados en sus entrenamientos. Las prendas disponibles incluyen calcetines inteligentes lavables a máquina, cómodos y transpirables, un sujetador y una camiseta. Los calcetines están equipados con un sensor de presión textil integrado que se comunica con una tobillera desmontable y recargable a través de Bluetooth. Esta tobillera registra los pasos del usuario, el tiempo que camina, la distancia, la velocidad, las calorías quemadas, la altitud, la cadencia y el estilo de aterrizaje del pie mientras hace ejercicio. El sujetador y la camiseta proporcionan una monitorización precisa y fiable de la frecuencia cardíaca [12] y funcionan a la perfección con el E-modulo sensoria HRM (monitor de frecuencia cardíaca), que tiene una batería de más de 8 meses de duración y se conecta mediante Bluetooth Smart y ANT+ a la aplicación



para smartphone Sensoria Run 2.0 y al Sensoria Virtual Coach. Estas herramientas también ofrecen a los corredores experimentados consejos sobre posturas y mecánica de carrera adecuadas para ayudarles a perfeccionar su estilo de carrera.

El tercer ejemplo es la camiseta inteligente desarrollada por L.I.F.E. Italia Srl, que ofrece dos variantes: una para atletismo y otra para fines médicos. La prenda de compresión médica BWell de L.I.F.E. Italia Srl, Milán (Italia), incluye un acelerómetro, cinco sensores de esfuerzo respiratorio y doce electrodos secos de tinta para monitorizar el ECG. Los electrodos están diseñados con una capa adhesiva, una capa de tinta conductora, una capa aglutinante, una capa disolvente, una capa espesante y una zona de gradiente entre las capas adhesiva y de tinta conductora. La superficie anterior de la prenda alberga los cinco sensores de respiración, que están contruidos con una cinta elástica impregnada de tinta conductora, conectores eléctricos en cada extremo y una cubierta de tejido de compresión. Por otro lado, la versión deportiva Performer Wearware de L.I.F.E. Italia Srl, Milán, Italia, se centra en el seguimiento del rendimiento y cuenta con dos derivaciones de ECG, dos sensores de respiración circunferenciales y diez acelerómetros. Esta versión incluye una camiseta y unos pantalones cortos, que monitorizan el movimiento de los muslos del usuario. [13]



Figura 18.3 Calcetines inteligentes Sensoria [12]



Figura 18.4. (a) Vistas frontal y posterior de la prenda de compresión médica de L.I.F.E. (BWell). La vista posterior (derecha) muestra dónde se coloca el tapón cuando se lleva puesta la prenda. Ambas vistas muestran un tapón para realizar EEG que la empresa está desarrollando actualmente. (c) Un ejemplo del ajuste de BWell cuando se lleva puesto. (d) Panel de visualización de datos en tiempo real. La figura se ha adaptado de la página web de la empresa que fabrica la prenda. [13]

Referencias

1. Curone, D.; Secco, E.L.; Tognetti, A.; Loriga, G.; Dudnik, G.; Risatti, M.; Whyte, R.; Bonfiglio, A.; Magenes, G. Smart garments for emergency operators: The ProeTEX project. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2010, 14, 694–701.
2. Sayem, A.S.M.; Teay, S.H.; Shahariar, H.; Fink, P.L.; Albarbar, A. Review on smart electro-clothing systems (SeCSs). *Sensors* 2020, 20, 587.
3. Andreev, E.; Radeva, V.; Nikolova, M. Innovative biomonitoring systems in the aerospace industry. In *Proceedings of the Communications, Electromagnetics and Medical Applications Conference 2019, Sofia, Bulgaria, 17 October–19 October 2019*.
4. Gerhardt, U.; Breitschwerdt, R.; Thomas, O. mHealth Engineering: A Technology Review. *J. Inf. Technol. Theory Appl.* 2018, 19, 5.
5. Angelucci, A.; Aliverti, A. Telemonitoring systems for respiratory patients: Technological aspects. *Pulmonology* 2020, 26, 221–232.
6. Huang, S.; Liu, Y.; Zhao, Y.; Ren, Z.; Guo, C.F. Flexible electronics: Stretchable electrodes and their future. *Adv. Funct. Mater.* 2019, 29, 1805924.
7. Sayem, A.S.M.; Teay, S.H.; Shahariar, H.; Fink, P.L.; Albarbar, A. Review on smart electro-clothing systems (SeCSs). *Sensors* 2020, 20, 587.



8. Majumder, S.; Mondal, T.; Deen, M.J. Wearable sensors for remote health monitoring. *Sensors* 2017, **17**, 130.
9. Hexoskin Health Sensors & all <https://www.hexoskin.com>
10. Angelucci, A.; Cavicchioli, M.; Cintorrino, I.A.; Lauricella, G.; Rossi, C.; Strati, S.; Aliverti, A. Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques. *MDPI Sensors* 2021, **21**, 814. <https://doi.org/10.3390/s21030814>.
11. Andrew Ennis, Laura Finney and Claire Kerr; Systematic Multidisciplinary Process for User Engagement and Sensor Evaluation: Development of a Digital Toolkit for Assessment of Movement in Children With Cerebral Palsy, *Frontiers in Digital Health*, Lisa Kent, Ian Cleland, Catherine Saunders, June 2021 Vol.3 article 692112.
12. Sensoria Socks™ (sensoriahealth.com).
13. L.I.F.E. Multipurpose Wearable Computers. Available online: <https://www.x10y.com/>.



Capítulo 19: Diseño ecológico para sensores, baterías y actuadores

Michail Delagrammatikas, CRETHIDEV, Greece

Abstract

Al adoptar un diseño centrado en el medio ambiente de dispositivos portátiles inteligentes y sensoriales y equipos de protección personal, el impacto ambiental puede reducirse de manera efectiva y el desafío de la eliminación al final de su vida útil puede mitigarse en el marco de una economía circular. En este capítulo se explicarán brevemente los principales aspectos del ecodiseño. Se abordan puntos clave específicos centrados en el diseño ecológico para sensores portátiles, baterías (y otros dispositivos de almacenamiento de energía) y actuadores.

Introducción

El enfoque de diseño ecológico para sensores, baterías y actuadores para dispositivos portátiles tiene como objetivo minimizar el impacto ambiental de todo el ciclo de vida de los productos, desde el origen de las materias primas hasta su eliminación. El diseño ecológico de sensores, baterías y actuadores portátiles implica la consideración de ciertos puntos clave, que implican la selección de los materiales, la eficiencia energética durante todo el ciclo de vida, la explotación de fuentes de energía renovables, la durabilidad y la vida útil prolongada del producto, la minimización del embalaje, evaluación del ciclo de vida y diseño de eliminación al final de la vida.

El diseño ecológico de sensores, baterías y actuadores portátiles debe basarse en un enfoque holístico que pueda crear productos que minimicen el impacto ambiental general y logren un alto rendimiento al tiempo que promueven un modelo de economía circular.

Selección de materiales

La selección del material es uno de los pasos más importantes en el diseño ecológico, ya que muchos materiales utilizados en sensores, baterías y actuadores pueden tener un impacto ambiental significativo. Los diseñadores deben considerar la huella ambiental completa de los materiales elegidos, que incluye:



- Extracción y procesamiento, que puede implicar el deterioro del entorno natural y la destrucción de los ecosistemas, la liberación de sustancias tóxicas y la amenaza a la biodiversidad, el uso excesivo de energías no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Transporte y cadena de suministro, que pueden implicar una gran huella de carbono que podría evitarse si se utilizan materias primas alternativas, locales o trazables.
- Toxicidad de los materiales. Deben seleccionarse materiales no tóxicos. Se deben evitar las baterías basadas en metales pesados como el plomo, el mercurio y el cadmio en favor de soluciones de almacenamiento de energía más ecológicas.
- El uso de materiales reciclados, reciclables y biodegradables puede reducir eficazmente los peligros ambientales asociados con la producción de materias primas y la eliminación al final de su vida útil.

Diseño circular y evaluación del ciclo de vida

Además del uso de materiales sostenibles y ecológicos, es de igual importancia diseñar los productos, los sensores, baterías y actuadores, así como los wearables (ropa, calzado, accesorios, equipo de protección personal, etc.) teniendo en cuenta su ciclo de vida completo, posible reutilización y eliminación al final de su vida útil. El diseño circular tiene como objetivo crear productos que no produzcan residuos durante la fabricación o después del uso. Algunas pautas clave para los diseñadores son las siguientes:

- Producto de diseño que se puede montar y desmontar fácilmente. Esto permite reutilizar componentes como sensores, dispositivos de almacenamiento de energía y actuadores si el dispositivo portátil se deteriora. También permite la separación de materiales reciclables en diferentes flujos de reciclaje.
- Proporcionar información sobre los materiales y cómo manipularlos al final de su vida útil. Las instrucciones claras y las pautas para los usuarios son muy importantes para lograr los objetivos del diseño circular. Realice una evaluación del ciclo de vida a lo largo de la cadena de suministro, use materias primas rastreables.
- Utilice materiales duraderos y técnicas de fabricación de alta calidad para prolongar la vida útil del producto. Trate de evitar el uso de materiales que



tengan una vida útil significativamente más corta que el resto del producto, a menos que se trate de piezas reemplazables.

Eficiencia energética y fuentes de energía renovables

Diseño de dispositivos portátiles teniendo en cuenta la optimización del consumo de energía a lo largo de la cadena de suministro y la vida útil del producto. Minimizar el consumo de energía puede implicar el uso de componentes de bajo consumo, la optimización de circuitos y la implementación de técnicas de administración de energía. Use baterías recargables u otros dispositivos de almacenamiento de energía, como supercondensadores. Favorecer la captación de energía a la recarga de la red eléctrica. Los dispositivos portátiles de recolección de energía pueden basarse en energía fotovoltaica (PV), generadores piezoeléctricos (PEG), nanogeneradores triboeléctricos (TENG), generadores termoeléctricos (TEG), recolección de energía cinética por imanes, recolección de energía electromagnética por antenas, etc.

Ecodiseño de sensores portátiles

Las consideraciones específicas sobre el diseño ecológico de sensores portátiles deben incluir los siguientes puntos:

- Reducción de tamaño y peso: Los sensores compactos y livianos reducen tanto el consumo de material como los requisitos de energía. También son más cómodos y fáciles de integrar.
- Preferir sensores pasivos sobre activos: en caso de usar sensores activos, se debe preferir el diseño para un consumo mínimo de energía y recolección de energía sobre la carga externa.
- Utilice sustratos flexibles: los sustratos flexibles permiten una integración cómoda con la ropa o los accesorios, lo que hace que sea más probable que se use el producto. Una mejor ergonomía fomenta el uso a largo plazo y minimiza el desperdicio de sensores desechados prematuramente.
- Diseño para un fácil desmontaje, reparación y gestión del final de su vida útil: el fácil desmontaje y reparación de los sensores portátiles extenderá la vida útil del producto. Los diseños modulares que permiten el reemplazo de componentes individuales reducirán el desperdicio, promoverán la reparabilidad, promoverán el reciclaje y facilitarán la reutilización de los sensores.



Diseño ecológico de baterías portátiles, dispositivos de almacenamiento y recolección de energía

Las consideraciones específicas sobre el diseño ecológico de los dispositivos de almacenamiento y recolección de energía deben incluir los siguientes puntos:

- Selección de material no tóxico: Deben evitarse los metales pesados peligrosos como el plomo, el mercurio y el cadmio. También se debe prestar atención a los nanomateriales que si se escapan de su matriz se vuelven tóxicos ya que pueden penetrar en los tejidos biológicos.
- La optimización de la densidad y la eficiencia energética permitirá maximizar la capacidad y minimizar el tamaño y el peso de la batería. La eficiencia energética se mejora al reducir las pérdidas de energía debido a la resistencia y las tasas de autodescarga.
- Utilice dispositivos de almacenamiento de energía recargables junto con dispositivos de recolección de energía: las necesidades de energía y consumo de energía de los sensores o actuadores integrados pueden aprovechar la energía producida por el movimiento y el calor corporal del usuario del dispositivo portátil. Las tecnologías de recolección de energía pueden usarse para cargar baterías, cuando la energía debe almacenarse durante períodos más largos, o supercondensadores cuando los dispositivos requieren una entrega rápida de la energía.
- Vida útil de las baterías y supercargadores: otra consideración para la selección del almacenamiento de energía/método de carga/sensor activo o sistema activador adecuado es administrar el almacenamiento de energía y optimizar los ciclos de carga/descarga de acuerdo con las necesidades de energía y consumo de energía para evitar la sobrecarga o la descarga excesiva. que pueden reducir la vida útil del dispositivo de almacenamiento de energía.
- Diseño de dispositivos de almacenamiento de energía modular: un enfoque de diseño modular para el reemplazo de celdas o unidades individuales, promoviendo la reparabilidad.
- Eliminación y reciclaje al final de su vida útil: las baterías pueden incluir materiales tóxicos, como metales pesados o materiales con una huella ambiental muy fuerte, como el litio, los supercondensadores también producen desechos tóxicos, por lo que es imperativo que puedan separarse



y reciclarse fácilmente en los flujos específicos que existen para baterías y electrónica.

Ecodiseño de actuadores portátiles

Las consideraciones específicas sobre el diseño ecológico de actuadores portátiles deben incluir los siguientes puntos:

- Centrarse en la eficiencia energética: la optimización de la eficiencia energética de los actuadores portátiles debería minimizar el consumo de energía y prolongar la vida útil de la batería. Se recomienda el uso de diseños de motores eficientes y algoritmos de control que reduzcan el desperdicio de energía..
- Diseño compacto, liviano y reparable: los actuadores compactos y livianos reducen el uso de materiales y los requisitos de energía, a la vez que permiten una integración más fácil con el dispositivo portátil. El diseño modular hace que los componentes sean fácilmente reparables y reemplazables al tiempo que reduce el desperdicio y prolonga la vida útil.
- Diseño orientado al usuario: los actuadores deben diseñarse para satisfacer las diferentes necesidades de los diferentes usuarios, de modo que se fomente el uso y se evite la probabilidad de eliminación prematura del dispositivo portátil o uso insuficiente.
- Eliminación y reciclaje: como es el caso de los sensores y los dispositivos de almacenamiento de energía, el diseño específico para el reciclaje al final de su vida útil de los actuadores portátiles en flujos específicos o un plan específico para la reutilización debe ser un punto central.

Conclusiones

Los conceptos básicos del ecodiseño de sensores portátiles, actuadores y sistemas de almacenamiento de energía implican:

i) la selección de materias primas no tóxicas, reutilizables y reciclables y un diseño general que permita el desmontaje al final de su vida útil y la gestión sostenible de los residuos.

(ii) sistemas que ofrezcan eficiencia energética.

(iii) tecnologías que garantizan una mayor vida útil y una fácil reparación.



(iv) características ajustables definidas por el usuario que permitirían una integración cómoda con prendas y equipos de protección personal.

Referencias

1. Kong L, et.al., 2022, A life-cycle integrated model for product eco-design in the conceptual design phase, *J. Cleaner Production*, 362, 132516.
2. Van der Velden, N., Kuusk, K. and Kohler, A., 2015. Life cycle assessment and eco-design of smart textiles: The importance of material selection demonstrated through e-textile product redesign, *Materials and design*, 84, p.p. 313-324.
3. Kohler, a., Hilty, L., and Bakker, C., 2011. Prospective Impacts of Electronic Textiles on Recycling and Disposal, *J. Ind. Ecology* 15(4), p.p. 496-511.
4. Kohler, A., et. al., 2012. Life cycle assessment and eco-design of a textile-based large-area sensor system, *Joint International Conference and Exhibition on Electronics Goes Green 2012+, ECG 2012*, 9-12 September 2012, Code 94718, Article number 6360445
5. Liman, Md.L.R., and Islam, M.T., 2022, "Emerging washable textronics for imminent e-waste mitigation: Strategies, reliability, and perspectives", *J. of Materials Chemistry*, 10(6), pp.2697-2735.
6. Schischke, K., Nissen, N.F., and Schneider-Ramelow, M., 2020. Flexible, stretchable, conformal electronics, and smart textiles: Environmental life cycle considerations for emerging applications, *MRS Communications*, 10(1), p.p. 69-82.
7. Dulal, M. et.al., 2022, Toward Sustainable Wearable Electronic Textiles, *ACS Nano*, 16(12), (p.p. 19755-19788).
8. Qing, L. et.al., 2022, The Status Quo and Prospect of Sustainable Development of Smart Clothing, *Sustainability*, 14(2), 990.
9. Butturi, M.A., et.al., 2021, Circular design options for wearables integrated sportswear to be employed in adverse outdoor conditions, *Proceedings of the Summer School Francesco Turco2021*, 26th Summer School Francesco Turco, 8-10 September 2021, Code 271549
10. Bagherzadeh R. et al. Wearable and flexible electrodes in nanogenerators for energy harvesting, tactile sensors, and electronic textiles: novel materials, recent advances, and future perspectives. *Materials Today Sustainability*. 2022, 20, 100233.



Capítulo 20: Codiseño de sensores inteligentes e integración en EPI para riesgos químicos y biológicos

Olga Papadopoulou, CRETHIDEV, Greece

Abstract

Este capítulo presenta los aspectos fundamentales involucrados en el co-diseño de sensores inteligentes de alta selectividad ajustados a EPI, empleados para la detección de riesgos químicos y biológicos en diversos entornos de trabajo. Se han esbozado diferentes tipos de sensores químicos y biológicos para EPI (mascarillas, respiradores, guantes y ropa), con el fin de resaltar el progreso tecnológico, los criterios de selección y evaluación y los potenciales de categorías particulares de materiales funcionales y técnicas de detección.

Introducción

El codiseño de sensores inteligentes integrados en equipos de protección individual (EPI) aprovecha el rápido desarrollo de la ingeniería de materiales, así como del Internet de las cosas, la informática, los algoritmos, la inteligencia ambiental, el aprendizaje automático y la inteligencia artificial [1, 2]. Las innovaciones introducidas en EPP mejoran las condiciones de seguridad y salud para muchas categorías de trabajadores que enfrentan riesgos para la salud y la vida en su ocupación diaria. Los profesionales empleados en el sector manufacturero de la industria pesada y ligera, el sector industrial y de investigación química, farmacéutica y biotecnológica, el sector agroalimentario, el sector médico, el sector de la seguridad y la ciencia forense son algunas categorías indicativas de usuarios finales de EPI inteligentes con una necesidad particular de tecnologías de detección que los protejan. contra peligros químicos y biológicos. Además de los dispositivos de detección portátiles, se han diseñado prendas de vestir, mascarillas y guantes con sensores inteligentes para satisfacer las necesidades particulares de los usuarios especializados.

Conceptos básicos de diseño

Las encuestas dirigidas tanto a grupos específicos de profesionales (p. ej., bomberos, mineros, personal de atención médica) como a expertos en seguridad o evaluadores externos que conocen las últimas tecnologías, destacan las necesidades que deben tener en cuenta los diseñadores de EPP y también sirven para fines de evaluación durante el laboratorio y el campo. ensayo de los productos [3].

Los materiales de detección sensibles y flexibles seleccionados específicamente pueden proporcionar funcionalidades mecánicas, térmicas, eléctricas, ópticas, químicas, biológicas y antirradiación para los EPP [4, 5]. En el caso de los sensores químicos y biológicos, los riesgos laborales que se deben abordar son los químicos y tóxicos (sólidos, líquidos, gases),



partículas contaminantes, fluidos biológicos, patógenos y toxinas. La tecnología de integración de sensores para PPE es un paso importante hacia el desarrollo de productos, que involucra tratamientos textiles y procesos de fabricación avanzados. El suministro y almacenamiento de energía de los sensores inteligentes autoalimentados es quizás el aspecto de diseño más desafiante [6]. Estos sistemas deben mostrar compatibilidad con los materiales textiles y sensores seleccionados y proporcionar suficiente autonomía. Otros criterios de diseño importantes mencionados por Basodan et al [3] son la ergonomía, así como la experiencia, la interfaz y la interacción de los usuarios y la facilitación de la conexión y comunicación con un entorno de trabajo inteligente. Los autores revisan muchos sistemas de sensores inteligentes de la literatura junto con su diseño tecnológico.

El rendimiento de los sensores diseñados se evalúa en términos de selectividad, exactitud y precisión dentro de determinados límites de detección y, por supuesto, se espera que ofrezcan una repetibilidad satisfactoria [6].

Aplicaciones y características de los sensores químicos inteligentes

Los tipos de sensores químicos más comúnmente utilizados son los sistemas de detección y monitoreo ópticos, electroquímicos, sensibles a las masas, eléctricos y paramagnéticos en miniatura integrados o conectados al EPP. En la literatura se pueden encontrar múltiples subdivisiones de estas categorías, cada una de las cuales está relacionada con el principio de un fenómeno físico/químico o cambio de una propiedad fisicoquímica/eléctrica medida por una técnica particular [6]. Para la detección de gases tóxicos y compuestos orgánicos volátiles (CO, CO₂, H₂S, SO₂, NO_x, NH₃, HCN, acetona, metanol, etanol, etc.) o partículas. El CNTS, las nanopartículas de Zn y el grafeno son materiales típicos empleados para absorber gases y vapores y pueden respaldar el diseño como sensores específicos de gas para máscaras faciales y respiradores inteligentes [4].

Los sensores integrados en los guantes facilitan el muestreo de varias superficies y brindan resultados rápidos ya sea por indicaciones ópticas o después de análisis in situ con dispositivos portátiles o de mano. Los sensores ópticos a menudo se basan en fenómenos de dispersión de fluorescencia o Raman. Las muestras adheridas a sensores electroquímicos, que actúan como electrodo de trabajo, se conectan a una configuración de tres electrodos y un potenciostato en miniatura, que proporciona voltamogramas. Se han desarrollado sensores ópticos y electroquímicos en guantes para la detección de productos químicos tóxicos (como fentanilo y trifluralina) y pesticidas en superficies de frutas y verduras. Los adhesivos hidrofílicos especialmente diseñados en las puntas de los dedos de los guantes con indicadores de color son capaces de ayudar a la detección de elementos traza Cu²⁺, Ni²⁺, Cr⁶⁺ en muestras de agua [2]. Kazemi et al. [7] han diseñado un sistema de detección de PPE portátil para la detección de gotas de soluciones químicas acuosas peligrosas. El sensor consta de una antena adherida en tejido hidrofóbico y una unidad de monitoreo remoto. Los autores subrayan que, después de las modificaciones adecuadas, este principio de detección podría utilizarse para la detección de otros



productos químicos peligrosos sólidos, líquidos y gaseosos. Tsong et al. [2]. Los avances tecnológicos de generación y almacenamiento de energía en sensores químicos inteligentes han sido revisados por Aaryashree et al. [6]. Los sensores químicos de los dispositivos portátiles eléctricamente autónomos recolectan y convierten la energía mediante varios métodos, que incluyen baterías y supercondensadores, celdas solares, generadores piezoeléctricos y triboeléctricos, recolectores de energía térmica, etc. La energía almacenada se usa para alimentar el sensor y otros sistemas adjuntos, como el control y la comunicación. sistemas.

Aplicaciones y características de los sensores biológicos inteligentes

La aplicación más simple de protección antimicrobiana para el EPP es el recubrimiento de fibras y materiales poliméricos con nanopartículas de Ag o macromoléculas de nitrógeno-halógeno (como N-halamina), que desinfectan las superficies expuestas del EPP. Shi et al. en su revisión [4] también han incluido materiales funcionales sensibles que son capaces de generar especies reactivas de oxígeno que destruyen o desactivan patógenos. Una adopción interesante de este tipo de filtro, presentada dentro del período de pandemia de COVID-19, utiliza nanocables de TiO₂, cuya actividad es catalizada por luz visible [8]. El sensor se puede integrar para producir mascarillas protectoras reutilizables.

Los sensores biológicos inteligentes de alta selectividad integrados en los EPP permiten monitorear la progresión de las enfermedades y, lo que es más importante, la exposición a riesgos biológicos [9]. Las principales categorías de peligros biológicos son: virus, bacterias y toxinas. De acuerdo con el tipo de peligro, el diseño de sensores biológicos inteligentes implementa técnicas como los ensayos inmunoabsorbentes ligados a enzimas (ELISA) y la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) que permiten la detección de patógenos específicos. Se han desarrollado sensores electroquímicos inteligentes en guantes para la detección rápida de *Pseudomonas aeruginosa*, mientras que los sensores ópticos pueden detectar bacterias como *Escherichia coli* [2]. Nguyen et al. [9] desarrollaron un sistema de detección biológica, adecuado para dispositivos portátiles, para la detección de ácidos nucleicos relacionados con patógenos específicos, así como metabolitos. Este sistema se empleó para el diseño de un sensor SARS-CoV-2 integrado en máscaras faciales que detecta el virus en los aerosoles emitidos.

Conclusiones

El enfoque de diseño para un sistema de detección particular integrado al PPE depende tanto del tipo de peligro que se está abordando como de las características del entorno de trabajo y los estándares de seguridad. El producto final debe ser cómodo y personalizado según las necesidades de los trabajadores individuales y ofrecer una detección rápida y precisa. Para lograrlo, son necesarios varios pasos: encuestas antes del diseño y durante la evaluación del rendimiento, selección de materiales sensores adecuados que sean compatibles con los tejidos del sustrato del EPI y los métodos de integración, así como la

incorporación de sistemas efectivos de generación de energía. Se necesitan diferentes etapas de extensas pruebas de laboratorio y de campo para el desarrollo de los productos comerciales finales. La producción en masa de sensores químicos y biológicos altamente selectivos es factible para varios tipos de peligros y muchos nuevos sistemas de detección prometedores se han desarrollado a escala de laboratorio en los últimos tres años y se encuentran en una fase experimental. El diseño y la fabricación de sensores biológicos inteligentes para PPE generalmente se considera más desafiante y estaba menos avanzado antes del brote pandémico de COVID-19.

Referencias

1. D. Podgórski, K. Majchrzycka, A. Dąbrowska, G. Gralewicz, M. Okrasa (2017), Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), pp.1-20, doi:10.1080/10803548.2016.1214431.
2. J. L. Tsong, R. Robert, S. M. Khor (2023), Emerging trends in wearable glove-based sensors: A review, *Analytica Chimica Acta*, 1262, 341277, doi: 10.1016/j.aca.2023.341277
3. R. A. M. Basodan, B. Park, H.-J. Chung (2021), Smart personal protective equipment (PPE):current PPE needs, opportunities for nanotechnology and e-textiles, *Flexible and Printed Electronics*, 6, 043004, doi:10.1088/2058-8585/ac3a9.
4. J. Shi, H. Li, F. Xu, X. Tao (2021), Materials in advanced design of personal protective equipment: a review, *Material Today Advances*, 12, 100171, doi: 10.1016/j.mtadv.2021.100171.
5. L. Chang, J. Li, F. Wang, J. Shi, W. Chen, X. Tao (2021), Flexible stimuli-responsive materials for smart personal protective equipment, *Materials Science & Engineering R*, 146, , 100629, doi:10.1016/j.mser.2021.100629.
6. Aaryashree , S. Sahoo, P. Walke, S. K. Nayak, C. S. Rout, D. J. Late (2021), Recent developments in self-powered smart chemical sensors for wearable electronics, *Nano-research*, 14(11), pp. 3669-3689, doi:10.1007/s12274-021-3330-8.
7. K. K. Kazemi, T. Zrifi, M. Mohseni, R. Narang, K. Golovin, M. H. Zarifi (2021), Smart superhydrophobic textiles using a long-range antenna sensor for hazardous aqueous droplet detection plus prevention, *ACS Applied Materials & Inteface*, 13(29), pp.34877-34888. Doi:10.1021/acsmi.1c07880.
8. E. Horváth, L. Rossi, C. Mercier, C. Lehmann, A. Sienkiewicz, L. Forró (2020), Photocatalytic Nanowires-Based Air Filter: Towards Reusable Protective Masks, *Advanced Functional Materials*, 30(40), 2004615, doi: 10.1002/adfm.202004615.
9. P. Q. Nguyen, L.R. Soenksen, N. M. Donghia, N. M. Angenent-Mari, H. De Puig, A. Huang, R. Lee, S. Slomovic, T. Galbersanini, G. Lansberry, H. M. Sallum, E. M. Zhao, J. B. Niemi,



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Textile digitalization based on digital
education and innovative e-Tools
2020-1-RO01-KA226-HE-095335



J. J. Collins (2021), Wearable materials with embedded synthetic biology sensors for biomolecule detection, *Nature Biotechnology*, 39, pp.1366-1374, doi:10.1038/s41587-021-00950-3.



Capítulo 21: Producción centrada en el usuario final de sensores y actuadores inteligentes

Olga Papadopoulou, CRETHIDEV, Greece

Abstract

Los principios básicos del diseño centrado en el usuario final de sensores y actuadores inteligentes en PPE se describen junto con la cultura de seguridad en el lugar de trabajo y la gestión de riesgos de última generación. Se destacan las perspectivas de integración a la inteligencia ambiental y los problemas vinculados a tecnologías de producción complejas y menos desarrolladas.

Introducción

El surgimiento y la evolución de las tecnologías de sensores y actuadores inteligentes, la producción de prototipos de EPI inteligentes y el diseño de sistemas avanzados de monitoreo e integración computacional han sido notables en los últimos años. Por otro lado, los procesos de producción industrial basados en un enfoque centrado en el usuario final aún no están bien establecidos y la literatura científica y técnica relevante es limitada. Este capítulo presenta brevemente las pautas sobre las cuales se deben desarrollar las tecnologías de producción de componentes portátiles y las características esperadas de los EPI inteligentes personalizados en el contexto de un entorno de trabajo inteligente.

Desafíos en la producción de componentes de EPI inteligentes centrados en el usuario final

Como ya se ha descrito en capítulos anteriores, el diseño de todos los tipos de sensores inteligentes para EPI debe basarse principalmente en los requisitos de seguridad y salud en el trabajo y las condiciones del entorno de trabajo de los grupos profesionales que se consideran usuarios finales.

Además, se supone que un diseño centrado en el usuario final logra la comodidad (mediante una ergonomía personalizada), permite configuraciones personalizadas basadas en las necesidades personales, las preferencias y el riesgo de exposición aparente y facilita la comunicación interactiva con los sistemas de monitoreo y control. La pandemia de COVID-19 ha acelerado el progreso en EPP inteligente para trabajadores de la salud. Manchanda et al. [1] con su trabajo proporciona un ejemplo de PPE ajustable por sensor para usuarios individuales. Se realizó una máscara facial centrada en el usuario final mediante la combinación de tecnología de impresión 3D y herramientas de detección de IoT.

La integración de sensores y actuadores centrados en el usuario final en entornos de inteligencia ambiental es el siguiente paso hacia un entorno de trabajo inteligente. Vale la



pena mencionar ejemplos indicativos de sistemas y redes computacionales que se han diseñado para monitorear datos transmitidos por dispositivos portátiles, interconectar componentes inteligentes, procesar datos y evaluar riesgos ambientales. Bernal et al. [2] desarrolló y presentó una plataforma de seguridad para la industria energética, que garantiza la supervisión y la interacción en tiempo real con los componentes de los EPI portátiles. Este sistema ha sido diseñado para admitir dispositivos portátiles inteligentes centrados en el usuario. Otra publicación de Adjiski et al. [3] introdujo un sistema de seguridad desarrollado para satisfacer las necesidades de la industria minera y proteger contra las duras condiciones de trabajo subterráneo y posibles accidentes prevenibles. Está compuesto por:

- EPI (prendas, gafas de seguridad, cascos) con múltiples sensores adjuntos para detectar peligros ambientales (niveles de humo, calor y ruido, gases tóxicos) y cámaras.
- un reloj inteligente para monitorear indicadores vitales de salud, ubicación y velocidad de movimiento, con detector de metales magnético incorporado,

todos conectados a través de sensores Bluetooth a un teléfono inteligente. Los autores han descrito la arquitectura del prototipo y la seguridad e información personalizada que ayudaría a la evacuación y rescate en caso de accidente.

El diseño de PPE funcional que adapta todas las innovaciones en textiles inteligentes, sensores y actuadores y tecnologías de integración y fabricación de vanguardia exhibe una complejidad creciente. Una clara confirmación de este hecho es la sustitución de la antigua directiva de la UE 89/686/EEC que describe las especificaciones, los requisitos técnicos y los procedimientos de certificación para la producción comercial de EPI [4], por el reglamento de la UE 2016/425 [5] actualmente existente. Es comprensible que la producción de EPP inteligente personalizado plantee desafíos técnicos y computacionales adicionales que deben abordarse mediante la adaptación de conceptos de diseño sofisticados y diferentes prioridades..

Tendencias recientes en la gestión de riesgos de SSO y directrices para las tecnologías de producción de EPP

Podgórski et al. [6] en su estudio han descrito la transformación en curso de las estrategias de enfoque tradicional de gestión de la seguridad y la salud en el trabajo.

Las prioridades actuales de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST), reflejadas también en las tecnologías de producción de todo tipo de sensores y actuadores de EPI inteligentes, están orientadas a:

- Evaluación de riesgos dinámica y en tiempo real en el entorno de trabajo y minimización de riesgos



- Protección personalizada para trabajadores individuales, teniendo en cuenta los niveles de exposición a peligros particulares.

Según Stephanidis [7], el concepto clave del diseño centrado en el usuario es la creación de un producto interactivo y fácil de usar que optimice la experiencia del usuario.

Para ello, el proyectista debe proceder según el siguiente algoritmo de trabajo:

- ‘Inmersión’ en el contexto de uso del producto y recogida de información directa sobre los perfiles profesionales de los usuarios y sus necesidades particulares.
- Determinación de la funcionalidad, especificaciones y requisitos del producto por parte de clientes potenciales (organizaciones) y usuarios finales.
- Producción de una serie de prototipos
- Evaluación y retroalimentación por parte de los usuarios.

Con el fin de respaldar el diseño y la producción en masa de sensores y actuadores inteligentes, los conceptos mencionados anteriormente deben digerirse e incorporarse creativamente en las futuras tecnologías de producción de EPI inteligentes personalizados. Un producto final centrado en el usuario final depende en gran medida de: (i) encuestas y sesiones de entrevistas durante las diferentes fases del prototipo, así como del diseño, producción y experimentación del producto comercial (escala de laboratorio e industrial), (ii) fases consecutivas de pruebas y desarrollo de productos, (iii) procedimientos de formación y (iv) sistemas de apoyo temporales y accesibles para cada lugar de trabajo y cada profesional individual [6].

Conclusiones

Los procedimientos de diseño y las tecnologías de fabricación disponibles no son lo suficientemente maduros para sostener la producción en masa de EPP inteligente de múltiples componentes centrado en el usuario final que abordaría los requisitos altamente exigentes de SSO de una serie de sectores económicos y profesionales de la seguridad. Las principales debilidades son:

- la dificultad en la incorporación efectiva de sistemas computacionales y mecánicos adicionales, necesarios para soportar la personalización para usuarios individuales.
- la falta de tecnologías de integración bien establecidas que garanticen la compatibilidad entre los múltiples componentes del EPI (materiales inteligentes, dispositivos en miniatura y varios componentes electrónicos).
- el marco técnico y legal incompleto para las pruebas estándar y la autorización de la producción de productos comerciales.



Referencias

1. A. Manchanda, K. Lee, G. D. Poznanski, A. Hassani (2023), Automated adjustment of PPE masks using IoT sensor fusion, *Sensors*, 23, 1711, doi: 10.3390/s23031711.
2. G. Bernal, S. Colombo, M. Al Ai Baky, F. Vasalegno, *Safety++: Designing IoT and Wearable Systems for Industrial Safety through a User Centered Design Approach*, PETRA '17: Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, June 2017, pp. 163–170, doi:10.1145/3056540.3056557.
3. V. Adjiski, Z. Despodov, D. Mirakovski, D. Serafimovski (2019), *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, pp.37-44, doi:10.17794/rgn.2019.14.
4. J. Geršak, M. Marčič (2013), The complex design concept for functional protective clothing, *Tekstil*, 62(1-2), pp.38-44
5. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/425/oj>
6. D. Podgórski, K. Majchrzycka, A. Dąbrowska, G. Gralewicz, M. Okrasa (2017), Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), pp.1-20, doi:10.1080/10803548.2016.1214431.
7. C. Stephanidis, Human factors in ambient intelligence environments, In: G. Salvendy (ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*, Hoboken, New Jersey & Canada: Wiley, 2012, pp. 1354–1373.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Textile digitalization based on digital
education and innovative e-Tools
2020-1-RO01-KA226-HE-095335



kauno
technologijos
universitetas



cre thi dev
Creating Intelligence

