

Wearables

DISPOSITIVOS INTELIGENTES PARA DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

WEARABLES FLEXIBLES EN SALUD: EL PROYECTO KINESSENSOR DE AIMPLAS

Los wearables o dispositivos vestibles son aparatos electrónicos que se llevan sobre el cuerpo para monitorizar parámetros fisiológicos o del entorno^[1]. Su principal virtud es recoger datos en tiempo real —por ejemplo, ritmo cardíaco, temperatura, movimiento muscular o postural— para mejorar la salud y el bienestar de la persona. Joaquín Castán, investigador en Ingeniería en Aimplas, nos descubre el proyecto Kinesensor.

Ejemplos conocidos son relojes y pulseras inteligentes, pero en el ámbito médico se están desarrollando bandas, parches o ropa con sensores integrados para seguimiento de pacientes. La electrónica convencional (rígida) choca con la necesidad de flexibilidad y comodidad al contacto con el cuerpo; por eso resulta clave la electrónica flexible, que usa materiales plásticos o polímeros conductores para imprimir circuitos y sensores conformables^[2]. Gracias a estos avances, se pueden fabricar dispositivos electrónicos delgados y livianos que se adaptan a geometrías complejas —por ejemplo, laminarse en una banda elástica o integrarse en un textil— y procesarlos a gran escala con mé-

todos convencionales^[3]. Así, los wearables flexibles permiten incorporar funciones inteligentes en prendas y accesorios, reduciendo peso y volumen y aumentando la comodidad.

¿Por qué la electrónica flexible?

La electrónica flexible (o plastrónica) resuelve varios retos de los wearables. Al poder doblarse y estirarse, los circuitos impresos en soportes plásticos se pueden ajustar al cuerpo sin sobresalir ni resultar incómodos. Aimplas y sus socios han explorado la síntesis de polímeros conductores (polímeros termoplásticos o termoestables con cargas conductoras) y su integración por compounding en piezas plásticas^[2]. Además, se emplean tintas funcionales conductoras basadas en plata, carbono o nanomateriales

que se imprimen por serigrafía, flexografía u otras técnicas sobre láminas plásticas flexibles^[4]. Esto permite adaptar los dispositivos a geometrías complejas y disminuir los componentes rígidos: por ejemplo, en un mismo material se puede imprimir la huella de múltiples sensores (de presión, tacto, deformación, temperatura, etc.) y las trazas de interconexión. Aimplas incluso aplica la técnica de In-Mould Electronics (IME), en la que estos sensores flexibles se integran directamente durante el moldeo plástico o termoformado, simplificando el ensamblaje del wearable. En resumen, la electrónica impresa en plásticos (plastrónica) logra dispositivos ligeros y económicos, con alta escalabilidad industrial^[3]^[4], mejorando la interacción persona-objeto en aplicaciones médicas y deportivas.

Proyector Kinessensor

Dentro de esta línea innovadora destaca el proyecto Kinessensor, liderado por Aimplas junto con otras empresas tecnológicas, un instituto médico especializado y una universidad. Su meta es desarrollar un sistema wearable inteligente para el diagnóstico y la rehabilitación de dolencias musculoesqueléticas^{[5][6]}.

Kinensensor se centra en la inhibición muscular artrogénica (AMI), una disfunción en la rodilla asociada a lesiones del ligamento cruzado anterior, que impide la contracción efectiva del cuádriceps y genera contracturas, dolor y retrasos en la recuperación^[7]. El dispositivo consiste en bandas y órtesis (férulas) con sensores impresos flexibles integrados para medir variables críticas al instante como la contracción muscular, ángulo de rodilla, temperatura o carga^[8].

Estos datos se envían por vía inalámbrica a un sistema de análisis en tiempo real, que emplea algoritmos de inteligencia artificial para identificar patrones de movimiento anómalos. De este

modo, los fisioterapeutas dispondrán de una herramienta objetiva para monitorizar la evolución del paciente y ajustar inmediatamente el tratamiento, y los pacientes podrán seguir ejercitándose en casa con el seguimiento adecuado^[9].

Los objetivos concretos de KINENSSENSOR se resumen en tres bloques^[8]: (1) Sensores flexibles impresos en bandas elásticas/órtesis para captar variables físicas relevantes de la rodilla; (2) sistemas de transmisión inalámbrica y monitorización en tiempo real de los datos; y (3) modelos de inteligencia artificial que alerten sobre patrones críticos y apoyen la toma de decisiones clínicas. El nuevo sistema permitirá identificar y controlar la AMI y otras enfermedades musculoesqueléticas, facilitando planes de rehabilitación personalizados. En definitiva, el trabajo de AIMPLAS en KINENSSENSOR ejemplifica cómo la combinación de sensores portátiles y plásticos funcionales puede mejorar el tratamiento de lesiones y generar medicina más accesible y precisa^{[5][9]}.

Materiales y procesos desarrollados por Aimplas

Para hacer realidad estos wearables, Aimplas ha desarrollado materiales plásticos avanzados y procesos de fabricación específicos. Entre ellos destaca la formulación de polímeros conductores compuestos: plásticos cargados con nanopartículas metálicas o carbonosas que conducen la electricidad sin perder flexibilidad. La institución ha abordado la síntesis de nuevos polímeros conductores y su incorporación en matrices termoplásticas o termoestables^[10].

En paralelo, se fabrican tintas funcionales con prestaciones eléctricas, térmicas o fluorescentes, aptas para impresión. Estas tintas se aplican sobre soportes flexibles por serigrafía, inyección o impresión 3D, permitiendo crear circuitos embebidos en láminas plásticas^{[4][11]}. Por ejemplo, se pueden imprimir sensores de presión o deformación sobre films poliméricos, o incluso realizar capas conductoras directamente en carcasas mediante in-mould labeling.



Banda inteligente con sensores flexibles para monitoreo de rodilla

Además, Aimplas trabaja en la integración de sensores y la electrónica impresa en productos finales: combinando procesos de moldeo con inserción de electrónica (In-Mould Electronics), se eliminan botones mecánicos y cables en favor de superficies táctiles o sensores incrustados^[4]^[12]. El centro cuenta con equipamiento de laboratorio y planta piloto para desarrollar y caracterizar estas tecnologías plastrónicas: impresión de circuitos flexibles, laminación, inyección sobre electrónica impresa, etc. En la práctica, esto ha permitido innovar en demostradores como el patinete inteligente Scootech de AIMPLAS, donde se integraron sensores capacitivos de temperatura, presión, deformación e iluminación directamente en piezas plásticas^[12].

Kinessensor cuenta con la financiación del Instituto Valenciano de Competitividad e Innovación (Ivace+i), a través del programa de Proyectos Estratégicos en Cooperación en su convocatoria de 2024, y fondos Feder.

Colaboraciones multidisciplinares

Estos proyectos se llevan a cabo en consorcios que reúnen distintas instituciones: universidades e institutos de investigación proporcionan la base científica y el desarrollo de algoritmos; centros médicos aportan el conocimiento clínico y validación de prototipos; y empresas tecnológicas aportan hardware y experiencia de producción. Gracias a estas siner-



gias pluridisciplinares, Aimplas coordina esfuerzos para garantizar que los dispositivos finales sean útiles en entornos reales de salud, cumplan estándares y puedan llegar al mercado.

Aplicaciones más allá de la salud

Aunque el foco de Kinessensor es clínico, la tecnología wearable tiene aplicaciones en muchos ámbitos:

- Deporte y rendimiento. La monitorización continua es ya esencial en el entrenamiento atlético. Los wearables deportivos —pulseras, chalecos, camisetas o plantillas inteligentes— recopilan datos biométricos (pulso, respiración, temperatura) y cinemáticos (aceleración, presión de pisada)^{[13][14]}. Por ejemplo, los equipos profesionales usan chalecos con GPS o sensores de movimiento para medir distancias recorridas y prevenir lesiones, y plantillas con sensores de presión ayudan a optimizar la técnica de carrera^{[13][14]}. Aimplas puede aprove-

char sensores flexibles impresos en textil para estas prendas, obteniendo ropa inteligente que se ajusta al atleta y envía información en tiempo real.

- Ergonomía y seguridad laboral. En entornos de trabajo se emplean wearables para proteger a los empleados. Dispositivos portátiles miden indicadores de fatiga, exposición a contaminantes o posturas forzadas y alertan ante riesgos inminentes. Por ejemplo, sensores integrados en cascos o vestimenta pueden detectar inclinaciones peligrosas, acelerómetros caídas o monitores de gases tóxicos en zonas industriales^[15]. En oficinas o trabajos sedentarios, apps y wearables ayudan a corregir la postura: detectan largos periodos de inactividad, miden la ergonomía de la espalda en tiempo real y envían alertas vibratorias para estirar o cambiar de posición^[16]. Con soluciones plásticas flexibles, se podrían integrar bandas posturales o cojines inteligentes que faciliten la prevención de lesiones musculoesqueléticas en el trabajo.

- Envejecimiento activo. Los wearables son aliados para mejorar la autonomía de las personas mayores. Relojes o pulseras inteligentes permiten monitorizar la actividad física diaria, el ritmo cardíaco e incluso recordar tomar medicación^[17]. Muchos dispositivos adaptados incluyen

La electrónica flexible (o plastrónica) resuelve varios retos de los wearables. Al poder doblarse y estirarse, los circuitos impresos en soportes plásticos se pueden ajustar al cuerpo sin sobresalir ni resultar incómodos.

pantallas de alta legibilidad, alertas de emergencia y sistemas de localización. Al motivar a levantarse periódicamente o alcanzar metas de ejercicio sencillo, estos wearables promueven un estilo de vida activo, reduciendo el riesgo de enfermedades crónicas y mejorando la movilidad en la tercera edad^[17]. La electrónica flexible abre la puerta a soluciones no invasivas (p. ej. parches sensor que se pegan a la piel) especialmente útiles para población mayor.

Retos tecnológicos actuales

A pesar del potencial, los wearables plásticos enfrentan varios desafíos técnicos:

- Encapsulado resistente. Hay que proteger los circuitos electrónicos contra agua, sudor y golpes sin perder flexibilidad. Materiales como poliimidas, elastómeros o parilenos se usan como barrera, pero el sellado debe ser ultradelgado para no entorpecer la adaptabilidad.
- Fiabilidad y calidad de señal. Los sensores flexibles sufren deriva y ruido con el uso. Garantizar lecturas estables requiere mejorar las formulaciones (por ejemplo, resistir la variación térmica) y desarrollar algoritmos de calibración.
- Durabilidad y fatiga mecánica. Los componentes plásticos y las trazas conductoras soportan ciclos continuos de flexión. Es crítico que el wearable mantenga su rendimiento tras miles de doblados. Las pruebas de fatiga acelerada y el refuerzo de zonas críticas (por ejemplo, con pistas en zig-zag) son líneas activas de investigación.
- Alimentación y conectividad. Integrar baterías o fuentes de energía flexibles (por inducción, o supercondensadores imprimibles) es complejo. También, mantener comunicación inalámbrica fiable (Bluetooth, NFC, etc.) en estructuras plásticas requiere soluciones de antenas flexibles.

Abordar estos retos es fundamental para consolidar los wearables como productos fiables y seguros.

El futuro: sensores integrados

El futuro de los wearables apunta a la integración total de la sensórica en los propios materiales de uso diario. Se espera que los productos plásticos dejen de ser pasivos y se transformen en objetos inteligentes: por ejemplo, sillas que monitorean la postura, ropa médica con detección continua o entornos domóticos con paredes sensorizadas. Aimplas se posiciona como centro de referencia en esta revolución de la plastrónica: su labor en sensores impresos y polímeros funcionales demuestra que es posible producir a gran escala dispositivos flexibles, ligeros y con geometrías complejas^[3]. Además, el trabajo en proyectos como Kinensensor abre la puerta a desarrollos aún más avanzados (por ejemplo, sensores autoadhesivos con electrónica incorporada), acelerando la llegada de soluciones de salud más personalizadas y accesibles. En definitiva, la visión de Aimplas es ofrecer productos inteligentes donde la electrónica flexible y los materiales plásticos trabajen de la mano, mejorando la calidad de vida de las personas.

Bibliografía

Información basada en la experiencia de AIMPLAS en plastrónica y wearables^{[2][4][8][12]}, así como referencias del proyecto Kinensensor^[9] y publicaciones sobre aplicaciones de wearables^{[13][16][17]}.

^[1] ¿Qué es la tecnología wearable? Usos y beneficios

www.moeveglobal.com/es/planet-energy/innovacion-sostenible/tecnologia-wearable-que-es

^[2] ^[3] ^[10] ^[11] ¿Conoces la Plastrónica?

Descubre sus infinitas posibilidades www.aimplas.es/blog/conoces-la-plastronica-descubre-sus-infinitas-posibilidades

^[4] Electrónica flexible impresa

y materiales conductores para movilidad y transporte sostenible e inteligente - Aimplas

www.aimplas.es/proyectos-desarrollados/electronica-flexible-impresa-y-materiales-conductores-para-movilidad-y-transporte-sostenible-e-inteligente/

^[5] ^[7] AI to Develop an Innovative

System for Diagnosing and Rehabilitating Joint Conditions

www.aimplas.net/blog/ai-develop-innovative-system-diagnosing-rehabilitating-joint-conditions/

^[6] ^[8] ^[9] Investigación en sistema

inteligente no invasivo para identificación, monitorización y rehabilitación de enfermedades musculoesqueléticas

www.aimplas.es/proyectos-desarrollados/investigacion-sistema-inteligente-no-invasivo-identificacion-monitorizacion-rehabilitacion-enfermedades-musculoesqueleticas/

^[12] Aimplas revoluciona la movilidad

con Scootech un patinete eléctrico inteligente con seguridad avanzada

www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/instituto-tecnologico-plastico-aimplas-revoluciona-movilidad-patinete-electrico-inteligente-seguridad-avanzada

^[13] ^[14] Wearables: la revolución en

la industria del deporte | LaLiga Business School

business-school.laliga.com/noticias/wearables-la-revolucion-en-la-industria-del-deporte-s

^[15] Tecnología wearable en el trabajo: seguridad y productividad - INTERIM GROUP

<https://interimgrouphr.com/blog/tecnologia-wearable/>

^[16] Apps y wearables: ¿puede la

tecnología ayudarnos a ser más ergonómicos? | Europreven - Servicios de Prevención de Riesgos Laborales

www.europreven.es/noticia/apps-y-wearables-puede-la-tecnologia-ayudarnos-a-ser-mas-ergonomicos

^[17] Wearables y personas mayores: una guía para mejorar la salud

canalsenior.es/noticias/wearebles-personas-mayores-mejorar-salud/

www.aimplas.es