



CITISENS 2024

I+D de materiales
compuestos inteligentes
para la mejora de la
calidad de vida en las
ciudades



Contenido

1. Ficha técnica del proyecto	2
2. Antecedentes y motivaciones	3
3. Objetivos del proyecto	4
4. Plan de trabajo	5
5. Resultados obtenidos	8



1. Ficha técnica del proyecto

N.º EXPEDIENTE	IMDEEA/2024/69
TÍTULO COMPLETO	I+D de materiales compuestos inteligentes para la mejora de la calidad de vida en las ciudades
PROGRAMA	Ayudas dirigidas a centros tecnológicos CV para proyectos de I+D en cooperación con empresas
ANUALIDAD	2024-2025
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	G-03182870



2. Antecedentes y motivaciones

Se proyecta que, en los años venideros, el mercado de las "ciudades inteligentes" experimentará un notable crecimiento, duplicando su tamaño según revela un estudio de la reconocida firma Statista. Este mercado, que movió cerca de 2.000 millones de dólares en 2023, se estima que alcanzará los 5.080 millones en 2028, representando un aumento anual promedio cercano al 25%. Los expertos de esta consultora atribuyen este crecimiento al alza a diversos factores positivos, como el aumento de la demanda de infraestructuras de comunicaciones y seguridad pública, el empoderamiento del ciudadano y el continuo crecimiento de la población urbana.

Esta tendencia ascendente convierte a CITISENS 2024 en un proyecto con un amplio alcance potencial, capaz de abarcar múltiples sectores y ofrecer una variedad de aplicaciones finales integrables en entornos urbanos. Por ende, los resultados obtenidos podrían beneficiar a numerosas empresas interesadas en implementar soluciones innovadoras en sus respectivas áreas de operación.

El objetivo principal del proyecto CITISENS 2024 ha consistido en desarrollar materiales compuestos de alto rendimiento que incorporen tecnologías avanzadas, como elementos funcionales de diversa naturaleza, utilizando la innovadora técnica de bordado TFP (Tailored Fiber Placement) combinado con la inclusión de elementos eléctricos y electrónicos de forma que se obtengan composites inteligentes para el ámbito de Smart cities.

La utilización de esta técnica permite la creación de estructuras textiles personalizadas, al posibilitar la disposición precisa de los elementos inteligentes sobre las piezas, así como la orientación óptima de las fibras de acuerdo con las características específicas de cada pieza. Además, facilita la combinación de diferentes tipos de fibras para la producción de productos finales altamente especializados.

Otro aspecto destacado de esta investigación es la optimización del desarrollo de tejidos inteligentes mediante la tecnología de bordado, que posibilita la integración de sensores, actuadores, interconexiones y transporte de energía en una amplia gama de textiles. Esto contribuirá al avance de nuevas estructuras textiles técnicas de alto valor añadido, promoviendo así la innovación en este ámbito.

Durante la ejecución del proyecto CITISENS 2024, se han fabricado piezas destinadas a aplicaciones presentes en mobiliario urbano y elementos decorativos con funcionalidades especiales, como en piezas estructurales para exteriores.



3. Objetivos del proyecto

El principal objetivo del proyecto CITISENS 2024 es llevar a cabo una investigación con el fin de desarrollar estructuras inteligentes sensorizadas de base textil para el ámbito de Smart Cities y para el ámbito de la movilidad urbana. Se ha trabajado con diferentes tecnologías aplicables a estructuras textiles o de base textil, que permitan de una forma rápida, segura y económica impulsar las ciudades hacia modelos basados en datos para crear nuevos entornos urbanos conectados que impulsen la sostenibilidad, calidad ambiental y seguridad, ayudando a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Por un lado, se han desarrollado prototipos capaces de monitorizar la salud de su estructura interna identificando y detectando posibles daños que pudiera tener. Por el otro, se ha trabajado con diferentes textiles y composites con capacidad para monitorizar parámetros ambientales, o magnitudes como el movimiento mediante acelerómetros, recolectar energía ambiental, así como desarrollar actuadores integrables sobre materiales textiles con el fin de mejorar la seguridad, la confortabilidad, la calidad de vida y la eficiencia de los servicios para los ciudadanos.

Los objetivos específicos que se preveía alcanzar son:

- Investigar diferentes tecnologías para la monitorización de la salud estructural con el fin de medir tensiones, incluso detectar y localizar posibles daños.
- Estudiar y analizar diferentes tecnologías aplicables al sector textil para la sensorización de parámetros ambientales.
- Estudiar y analizar diferentes tecnologías para medición y detección de movimiento, y que puedan servir para señalar aspectos de interés para el usuario.
- Diseñar y desarrollar soluciones textiles con capacidad para monitorizar parámetros ambientales de una ciudad, con autoabastecimiento de energía, recolectando energía ambiental, y con capacidad para actuar para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.
- Estudiar la industrialización de las tecnologías investigadas y su viabilidad económica.
- Estudiar la patentabilidad de las tecnologías desarrolladas.
- Transferir las tecnologías investigadas a los sectores industriales potencialmente interesados en los resultados del proyecto.

4. Plan de trabajo

Cabe destacar que en el momento de la solicitud del proyecto se planteó una distribución de paquetes de trabajo y tareas con su respectiva distribución temporal, con una duración inicial de 14 meses, pero que, con el fin de terminar todas las actividades y todos los desarrollos propuestos durante el proyecto CITISENS24, se ha decidido ampliar el cronograma del proyecto 2 meses, aplazando por lo tanto la finalización del proyecto a agosto de 2025, como se muestra a continuación:

PAQUETES DE TRABAJO	MESES															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PT1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO																
ACTIVIDAD 1.1.: GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																
PT2. EJECUCIÓN TÉCNICA																
ACTIVIDAD 2.1.: ESTADO DEL ARTE / VIABILIDAD TÉCNICA / DIAGNÓSTICO DE NECESIDADES																
ACTIVIDAD 2.2.: EXPERIMENTAL																
ACTIVIDAD 2.3.: CARACTERIZACIÓN																
ACTIVIDAD 2.4.: COORDINACIÓN TÉCNICA Y VALIDACIÓN																
Entregable PT2																◊
Hito 1																▲
PT3. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS																
ACTIVIDAD 3.1.: COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS																
Entregable PT3																◊
Hito 2																▲
PT4. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																
ACTIVIDAD 4.1.: SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																

Tras analizar las actividades realizadas durante el transcurso del proyecto, se puede observar que casi todas las actividades, a excepción de las actividades del PT2, han seguido la planificación establecida desde el inicio, aunque la duración de algunas tareas se ha prolongado o acortado dependiendo de cómo ha ido evolucionando el proyecto y de los resultados parciales o finales que se iban obteniendo.

Estas desviaciones, características de cualquier proyecto, no han alterado en ningún caso la correcta ejecución y obtención de los resultados planificados.

En cuanto a la ejecución en cada uno de los paquetes de trabajo se han acometido las siguientes tareas:

PT1: GESTIÓN Y SEGUIMIENTO

Las primeras acciones del proyecto CITISENS24 se han centrado en la delimitación precisa de su alcance, definiendo con claridad los objetivos científico-técnicos y subrayando la innovación que aportará al campo de las ciudades inteligentes (SMART CITIES). Asimismo, se ha realizado un análisis exhaustivo del estado del mercado y del arte en tecnologías afines, identificando el panorama actual y evaluando las soluciones existentes.

Se han establecido los paquetes de trabajo y las actividades correspondientes, junto con un cronograma que permite detectar tempranamente cualquier desviación. El presupuesto se ha elaborado con detalle, incorporando la imputación horaria, la adquisición de materias primas y servicios externos, y previniendo posibles variaciones en fases futuras. La planificación de la

transferencia de conocimiento a empresas de la Comunitat Valenciana adopta un enfoque práctico para la aplicación efectiva de los resultados.

En la definición de recursos necesarios, se ha detallado la participación del personal en el desarrollo de prototipos, así como en la gestión y coordinación general del proyecto. Se han seleccionado las plantas experimentales idóneas para las tareas de investigación, y se han gestionado los recursos externos con proveedores y colaboradores para optimizar el presupuesto.

Respecto al plan de comunicación, se ha elaborado un esquema de difusión detallado, con un cronograma que sincroniza las acciones de divulgación con el avance del proyecto, alineando las estrategias con los hitos clave.

En la definición de los prototipos, se han determinado las tecnologías a utilizar, los materiales requeridos y los responsables de su desarrollo, identificando la planta experimental correspondiente para su elaboración.

Por último, en la definición de los niveles de partida y objetivo, se han fijado con precisión estos indicadores, programando reuniones mensuales de seguimiento para monitorear el progreso y realizar ajustes estratégicos cuando sea preciso. Este enfoque holístico evidencia la coherencia y la meticulosa planificación de todas las fases del proyecto CITISENS24.

PT2: EJECUCIÓN TÉCNICA

En este paquete de trabajo se han ejecutado las tareas principales asociadas al desarrollo de prototipos.

En resumen, para la creación de los composites inteligentes propuestos, las actividades realizadas han incluido: el diseño CAD en 2D y 3D de las piezas, un estudio de simulación de cargas asistido por ordenador para identificar puntos críticos y reforzar el bordado en ellos, el picaje de las piezas mediante el software EPCwin, y el bordado TFP con diversas fibras junto con la integración de sensores o actuadores. En el caso específico del asiento o la banqueta, la fabricación de los composites se ha llevado a cabo por termoconformado e infusión de resina asistida por vacío, respectivamente.

Para todos los prototipos desarrollados, se han realizado las correspondientes caracterizaciones y validaciones adaptadas al tipo de producto, incorporando pruebas y ensayos específicos para la evaluación de prototipos textiles o composites inteligentes. Además, se ha efectuado una reingeniería iterativa de los prototipos conforme se obtenían resultados. Esta metodología se ha aplicado de manera sistemática a cada prototipo, con detalles ampliados en el apartado 5 del presente documento.

PT3: COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

En el tercer paquete de trabajo se han desglosado las actividades en la evaluación del impacto en las empresas, junto con el análisis de la viabilidad económica y técnica a escala industrial.



Respecto a la evaluación del impacto en las empresas, han participado de manera activa en el proyecto las entidades CLOSCA y RYSE ENERGIA. De este modo, se han desarrollado acciones orientadas a la transferencia de conocimiento hacia las empresas, abarcando tanto a las mencionadas como a otras adicionales, tales como la identificación y selección de mercados objetivo, el análisis de las necesidades empresariales en esos mercados y la evaluación de soluciones comerciales existentes.

Para cada uno de los desarrollos realizados, se han determinado las demandas específicas de las empresas del sector, se han explorado soluciones comerciales adaptadas, se han detectado mercados potenciales y se han establecido visitas y contactos a lo largo de la ejecución del proyecto.

Además se han llevado a cabo tareas dedicadas a la comunicación y difusión de resultados, se han implementado iniciativas destinadas a divulgar el alcance y los logros del proyecto a través de diversos canales y medios.

5. Resultados obtenidos

En resumen, el proyecto CITISENS 2024 ha trabajado en multitud de líneas de investigación tratando de mejorar las propiedades estructurales de los materiales compuestos, y además aportar valor añadido a estos mediante la integración de funcionalidades inteligentes que respondan a las demandas en un entorno de ciudades conectadas.

En este sentido se han llevado a cabo los siguientes desarrollos principalmente:

CASCO CON ALTAVOZ INTEGRADO

Se ha desarrollado un casco para bicicleta con sistema de audio integrado, concebido para mejorar la seguridad y la comodidad en entornos urbanos. El objetivo principal ha sido combinar protección, conectividad y discreción mediante un conjunto de funcionalidades inalámbricas y un diseño ergonómico y minimalista.

El casco incorpora auriculares integrados en las orejeras, controles táctiles laterales, micrófono frontal oculto y batería recargable ubicada en la parte posterior. Para la integración de los sistemas electrónicos, se seleccionaron componentes compactos y ligeros, entre ellos auriculares tipo slim con micrófono, módulo Bluetooth y batería de litio recargable. El posicionamiento de los elementos se planificó para no interferir con el uso del casco, utilizando fijaciones ocultas, y canalizando el cableado de forma interna a través de hendiduras discretas. Se realizaron también pruebas de confort para evitar puntos de presión, acompañadas de estudios con figuras ilustrativas sobre la colocación de micrófonos omnidireccionales y baterías.

Cabe destacar que se desarrollaron distintas versiones de carcasas para los auriculares, modeladas en software CAD, en las cuales se insertaron los transductores acústicos y la electrónica de control. Estas carcasas fueron posteriormente integradas en orejeras impresas en 3D mediante tecnología FDM. El proceso partió de la adaptación de un casco comercial para las primeras pruebas, evolucionando hacia un diseño completo optimizado con accesorios específicos.



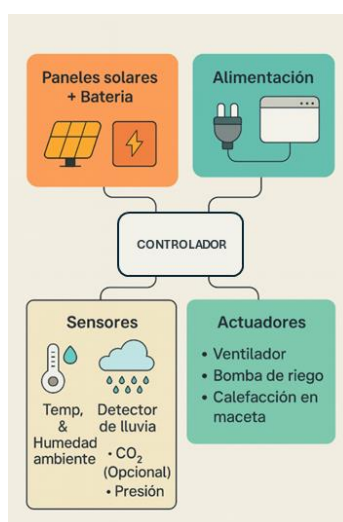
La integración final de la electrónica se realizó de manera oculta dentro de las orejas impresas, reduciendo su tamaño en un 85 % para mejorar el ajuste ergonómico y facilitar la completa integración de los altavoces sin alterar la estética del casco. Para ello, se establecieron patrones de tejido que permitieron cubrir los componentes de forma discreta y funcional.



Por último, dispone de un sistema de carga inalámbrica adaptado al diseño del casco. Este sistema se materializó en una diadema posterior que permite la recarga de la electrónica interna sin necesidad de conectores visibles, manteniendo la coherencia estética y la facilidad de uso del producto final.

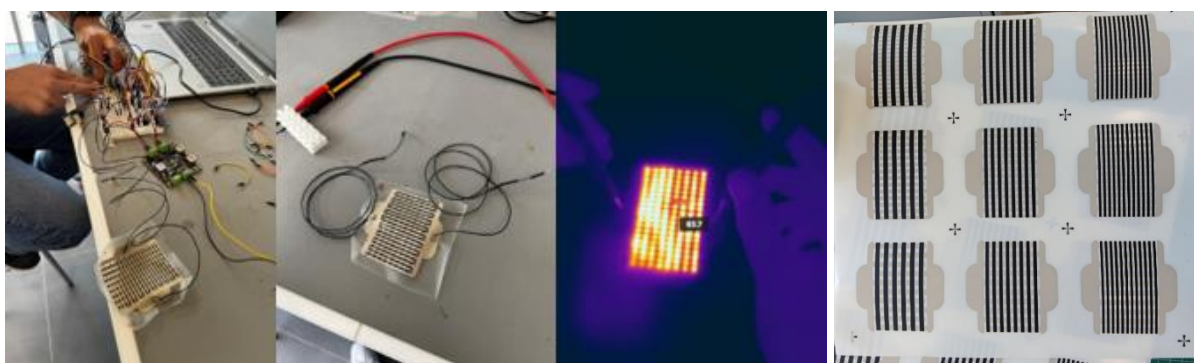
INVERNADERO URBANO CONECTADO

Se ha llevado a cabo el diseño y desarrollo de un invernadero urbano inteligente, evolucionando a partir de prototipos previos cuyo rendimiento no había alcanzado los niveles óptimos esperados. El nuevo diseño se basa en la integración de sensores, actuadores y un sistema de control embebido con microcontrolador, orientado a la monitorización ambiental (temperatura, humedad, CO₂ y lluvia) y a la automatización de procesos como el riego, la ventilación y la calefacción antiheladas, todo ello alimentado mediante energía solar para garantizar la autosuficiencia y sostenibilidad del sistema.



El enfoque del demostrador se centra en la sostenibilidad y la eficiencia energética, utilizando componentes de bajo consumo y un front-end web que permite la visualización de datos en tiempo real. Se han realizado distintas pruebas de campo y desarrollado prototipos funcionales, con el objetivo de validar el funcionamiento del sistema en entornos reales de jardinería urbana.

La arquitectura general propuesta para el invernadero consta de un sistema de alimentación solar compuesto por cuatro paneles conectados en paralelo, un regulador de carga, una batería LiPo y un control central, que gestiona tanto la adquisición de datos de los sensores como la activación de los actuadores sin necesidad de un gateway externo. El sistema integra sensores de temperatura y humedad ambiental, CO₂, humedad del suelo y detección de lluvia, junto con actuadores como bomba de riego, ventilador y una manta calefactable para macetas.



Para la actualización tecnológica del prototipo se han empleado componentes clave, todos ellos alimentados a través del sistema solar integrado, garantizando su funcionamiento semi-autónomo.

La lógica de control del sistema se ha definido con mediciones cada segundo y umbrales configurables, que determinan la activación automática de los diferentes mecanismos:

- El riego se activa cuando la humedad del suelo desciende por debajo del 30 %.
- El ventilador se enciende si la temperatura supera los 31 °C, el nivel de CO₂ excede los 700 ppm o la humedad relativa se sitúa fuera del rango del 35–55 %.
- La calefacción se activa cuando la temperatura del suelo baja de 4 °C y se apaga al superar los 8 °C.

Asimismo, se ha desarrollado una interfaz web embebida en el propio controlador para la visualización de datos mediante gráficas en tiempo real. Todo ello ha requerido un intenso trabajo de codificación para asegurar la estabilidad y fiabilidad del sistema.



Uno de los aspectos más innovadores del proyecto ha sido el desarrollo de elementos calefactables mediante tecnología de impresión electrónica, con el fin de optimizar el control térmico del invernadero. Para ello se llevaron a cabo pruebas experimentales utilizando tres técnicas de impresión: flexografía IGT, flexografía RK y serigrafía, evaluando distintos materiales, tintas y parámetros de proceso.

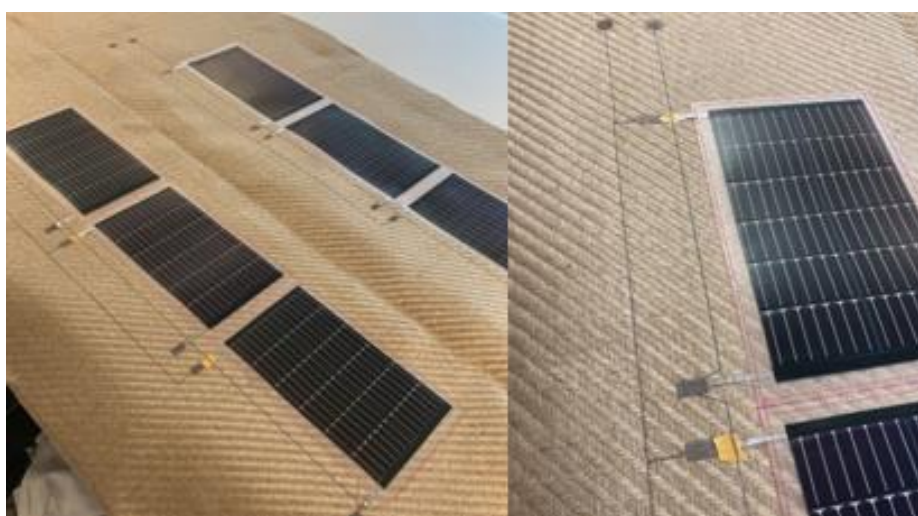


Finalmente, el demostrador culmina con el desarrollo de prototipos de cubre-geotextiles para jardinería, fabricados con sustratos textiles en distintos formatos y diseños, integrando los avances conseguidos en calefacción impresa, control embebido y eficiencia energética para su aplicación en entornos urbanos sostenibles.

PALA EÓLICA SENSORIZADA CON RECOLECCIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Se ha desarrollado un prototipo de pala eólica que combina funcionalidad y tecnología para optimizar el rendimiento en entornos exteriores. Además de su rol principal en la generación de energía eólica, esta pala incorpora características avanzadas que la convierten en un componente inteligente y sostenible.

Una de las innovaciones clave es la recolección de energía mediante captación fotovoltaica. La pala está equipada con paneles solares integrados en su superficie, que captan la energía solar y la convierten en electricidad. Esta energía se utiliza para alimentar los dispositivos y sensores incorporados en la pala, con los paneles ubicados en la estructura se maximiza la exposición al sol y contribuye a la eficiencia energética complementaria. Los paneles han sido bordados sobre el sustrato textil de lino y las conexiones se han realizado mediante bordado con hilos conductores.



La pala está diseñada para integrarse en un sistema conectado dentro de un entorno urbano o eólico, comunicándose con otros dispositivos y redes de la infraestructura, como sensores de monitoreo ambiental.



La combinación de energía solar complementaria, y textiles inteligentes convierte a esta pala eólica en un componente versátil y sostenible. Además de su contribución a la generación de energía renovable en espacios exteriores, su capacidad para monitorear y adaptarse en tiempo real la posiciona como un prototipo innovador y eficiente.

DESARROLLO DE SENSORES DE FLEXIÓN/DEFORMACIÓN MEDIANTE BORDADO

Se han realizado diferentes diseños de sensores textiles flexibles orientado a la monitorización de deformaciones en materiales compuestos, utilizando la tecnología de bordado en las instalaciones de AITEX. El objetivo principal ha sido crear sensores adaptables, duraderos y de alta sensibilidad capaces de integrarse en estructuras textiles y en materiales compuestos para aplicaciones de monitorización estructural (SHM).

Se definieron las trayectorias de los hilos conductores resistivos siguiendo patrones serpenteantes o en zigzag con el fin de maximizar la capacidad de elongación sin comprometer la integridad del hilo, adaptándose tanto a deformaciones uniaxiales como biaxiales. Para la fabricación, se empleó una bordadora de altas prestaciones, capaz de integrar los hilos conductores sobre sustratos textiles no tejidos o tejidos planos, garantizando una adecuada adherencia y conductividad eléctrica del sensor resultante. Estos diseños se bordaron sobre tejido de lino que será el sustrato textil que se emplea para el conformado de composites.



Las pruebas preliminares se centraron en evaluar la respuesta resistiva del sensor ante flexiones controladas, calibrando las variaciones relativas de resistencia ($\Delta R/R_0$) como parámetro clave para la detección precisa de deformaciones. Los resultados obtenidos demostraron una alta sensibilidad y repetitividad, lo que valida el uso de estos sensores como herramientas eficaces de monitorización estructural en mobiliario urbano, infraestructuras o elementos arquitectónicos inteligentes.

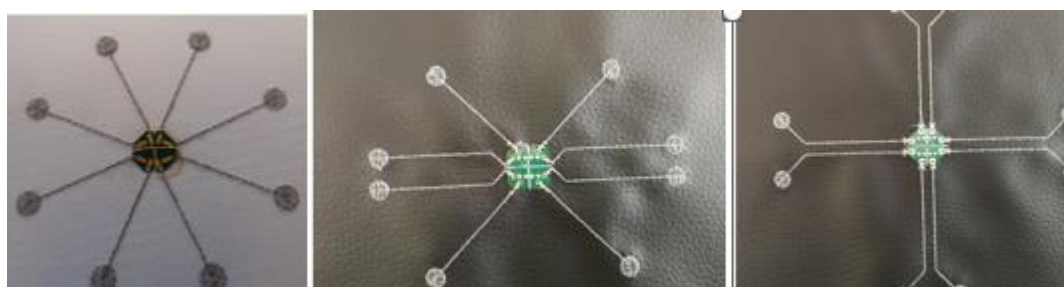
Este enfoque promueve el desarrollo de sensores textiles fácilmente integrables en materiales compuestos, ofreciendo una solución viable para el seguimiento del estado estructural (SHM) y el mantenimiento predictivo en entornos urbanos sostenibles.

DEMOSTRADOR TEXTIL CON INTEGRACIÓN DE SENSORES AMBIENTALES

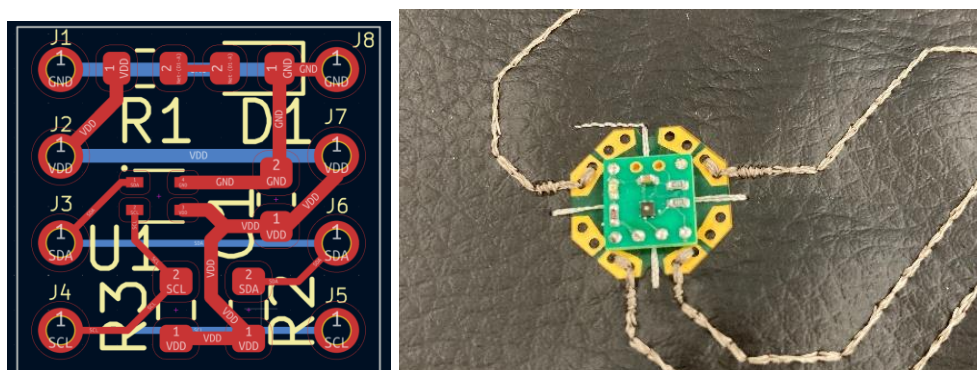
Este demostrador consiste en un prototipo textil inteligente para la monitorización ambiental en entornos urbanos y smart cities. Este sistema integra sensores electrónicos mediante la técnica de

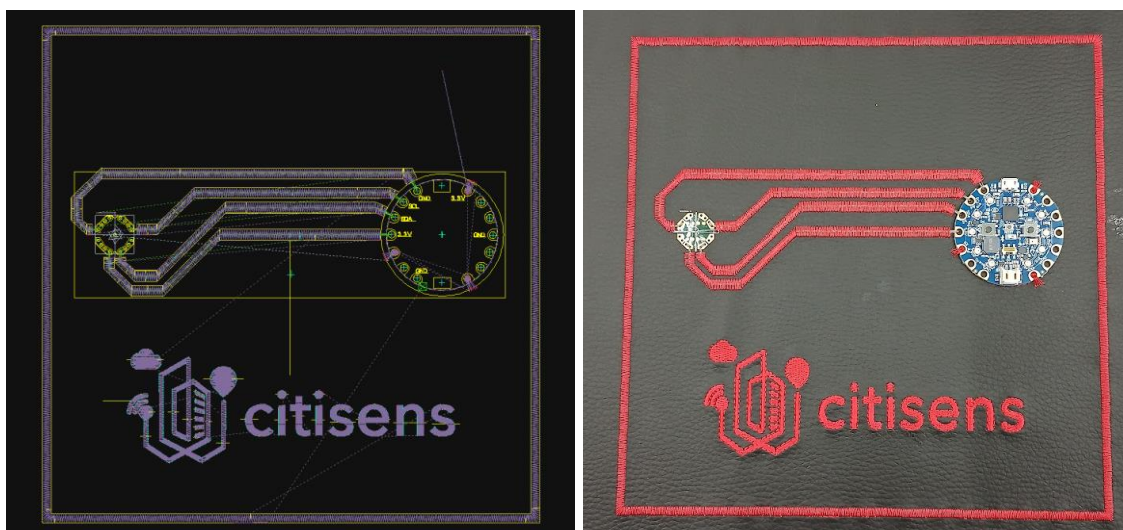
bordado electrónico (e-broidery) sobre sustratos textiles, permitiendo la adquisición inalámbrica de datos ambientales, como temperatura, humedad, luminosidad y radiación UVA, con visualización en tiempo real a través de una aplicación Android.

Para ello se ha diseñado una serie de lentejuelas electrónicas adaptadas para su integración textil que posteriormente soportarán los sensores indicados. Para ello, se elaboran patrones CAD de componentes circulares conductivos, de aproximadamente 10 a 15 mm de diámetro, que actúan como nodos sensoriales y de conexión. Las interconexiones entre estos elementos se realizan mediante bordado con hilos conductores, los cuales funcionan como conectores flexibles. Este enfoque permite optimizar la distribución eléctrica, minimizar las interferencias y mejorar la adherencia de los componentes al tejido, manteniendo la flexibilidad y confort del material.



En la fase de selección de componentes, se analizaron diversos sensores comerciales compatibles con este tipo de integración, además de diseñar una mini placa de circuito impreso (mini-PCB) específica para el sensor SHT40. Este módulo personalizado incorpora un encapsulado flexible apto para ser cosido o bordado sobre el textil. Se realizaron pruebas de conexión mediante broches tipo snap, así como simulaciones electrónicas y ensayos de soldadura por reflow, con resultados satisfactorios tanto en robustez como en flexibilidad.





Finalmente, cuenta con una aplicación Android para la adquisición, visualización y registro de datos. La app incluye funciones de escaneo BLE y paneles de control interactivos, permitiendo el seguimiento en tiempo real de las variables ambientales.



Fue probada en diversos dispositivos móviles durante sesiones de uso en entorno urbano, demostrando su fiabilidad y una excelente usabilidad y escalabilidad para futuras implementaciones dentro de redes IoT textiles orientadas a la monitorización ambiental inteligente.