



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE INGENIERA TEXTIL

**“DESARROLLO DE UN TEXTIL INTELIGENTE CON RETROALIMENTACIÓN
SENSORIAL HÁPTICA PARA LA MEJORA DEL TRÁNSITO EN LOS CICLISTAS”**



AUTOR: Ramírez Montalvo Katherin Lisbeth

DIRECTOR: MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

Ibarra - Ecuador

2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art.144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ramírez Montalvo Katherin Lisbeth

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Desarrollo de un textil inteligente con retroalimentación sensorial háptica para la mejora del tránsito en los ciclistas.
AUTOR (ES):	Ramírez Montalvo Katherin Lisbeth
FECHA:	4 de mayo del 2026

SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera textil
DIRECTOR:	Ing. Chugá Chamorro Valeria Verónica, MSc.

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de mayo de 2026

EL AUTOR:

Firma: -----

Nombre: Ramírez Montalvo Katherin Lisbeth

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, a los 4 días del mes de mayo de 2026

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f): -----

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

C.C: 040173225-0

(f): -----

MSc. Lara Castro Lenin Omar

C.C: 1002748125

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Desarrollo de un textil inteligente con retroalimentación sensorial háptica para la mejora del tránsito en los ciclistas” elaborado por Ramírez Montalvo Katherin Lisbeth, previo a la obtención del título de Ingeniera Textil, aprueba el siguiente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): -----

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica

C.C: 040173225-0

(f): -----

MSc. Lara Castro Lenin Omar

C.C: 1002748125

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a la memoria de mi querida hermana Gladys Maribel Ramírez Montalvo, quien, a pesar de no estar a mi lado, sigue siendo mi mayor inspiración. La vida no le permitió cumplir muchos sueños, pero me dejó el más valioso ejemplo de cariño, generosidad y pureza de corazón. Estoy segura de que desde el cielo se siente orgullosa de mí, como yo siempre lo estaré de ella.

Con todo mi amor, Katherin.

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres María Dolores Montalvo Pineda y Oswaldo Ramírez Chiza, por ser mi apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por creer en mí e impulsarme a alcanzar mis metas. Desde pequeña me enseñaron los valores de la responsabilidad, honestidad y perseverancia para que pueda alcanzar mis objetivos. Su amor, sacrificio y dedicación han sido mi mayor motivación para seguir adelante. Mamá y papá, este logro también es fruto de su esfuerzo. Los amo con todo mi corazón.

A mis hermanos, por ayudarme a comenzar este camino y facilitarme con mucho cariño las herramientas y recursos necesarios para continuar. Su apoyo lo guardaré siempre en mi memoria.

A mis amigos “los pibes”, por enseñarme el verdadero significado de la amistad, compañerismo y trabajo en equipo. Gracias por su cariño, y por hacer de cada día en la universidad un recuerdo que guardaré siempre con gratitud y afecto.

Ramírez Montalvo Katherin Lisbeth

RESUMEN

La presente investigación se enfocó en el desarrollo de un textil inteligente con retroalimentación sensorial háptica para mitigar los siniestros de tránsito derivados de la deficiente comunicación entre ciclistas y conductores. Bajo una metodología mixta y un diseño experimental, se fabricó un prototipo compuesto por un chaleco de neopreno y un mando de control inalámbrico, utilizando circuitos con conexiones mixtas de hilos conductores y cableado convencional. El sistema integra microcontroladores ESP32 vinculados mediante el protocolo ESP-NOW, permitiendo el accionamiento de pulsadores desde el manillar (sistema emisor) para la activación de señales luminosas compuestas por una matriz de LEDs SMD 5050, cuya cromática se basó en la norma NTE INEN 155:2015, y se complementa con respuesta háptica vibratoria de confirmación integrada en la prenda (sistema receptor).

Los resultados de laboratorio, bajo la norma AATCC 22-2014, validaron al neopreno con laminado a doble cara como una barrera hidrostática efectiva para la protección del hardware. Asimismo, la conformidad del producto, evaluada en base al modelo de calidad ISO/IEC 25010, demostró una adecuación funcional del 97%, un rendimiento del 95%, fiabilidad del 94% y usabilidad del 92,6%, lo que valida al prototipo como una solución técnica eficaz que optimiza la seguridad vial, brindando ergonomía y confort.

Palabras claves: Textil inteligente, retroalimentación sensorial háptica, ESP32, seguridad vial, neopreno, ESP-NOW.

ABSTRACT

This research focused on the development of a smart textile with haptic sensory feedback to mitigate traffic accidents resulting from poor communication between cyclists and drivers. Using a mixed methodology and experimental design, a prototype was manufactured consisting of a neoprene vest and a wireless control unit, utilizing circuits with mixed connections of conductive wires and conventional wiring. The system integrates ESP32 microcontrollers linked via the ESP-NOW protocol, allowing the activation of pushbuttons from the handlebars (transmitter system) to trigger light signals composed of an SMD 5050 LED matrix, whose color scheme was based on the NTE INEN 155:2015 standard. This is complemented by haptic vibration feedback integrated into the garment (receiver system).

Laboratory results, under AATCC 22-2014 standard, validated the double-sided laminated neoprene as an effective real hydrostatic barrier for hardware protection. Furthermore, the product conformity, evaluated based on the ISO/IEC 25010 quality model, demonstrated functional suitability 97%, a performance of 95%, reliability of 94%, and usability of 92.6%, which validates the prototype as an effective technical solution that optimizes road safety, providing ergonomics and comfort.

Keywords: Smart textile, haptic sensory feedback, ESP32, road safety, neoprene, ESP-NOW.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. El problema	1
1.1.1. Problema de investigación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Formulación del problema de investigación	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Características del sitio del proyecto.....	4
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Estudios previos	8
2.2.1. Limitaciones de la seguridad vial ciclística	8
2.2.2. Interfaces textiles inteligentes (wearables).....	8
2.2.3. Conectividad inalámbrica y procesamiento de baja latencia	10
2.3. Marco legal.....	10
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador	10

2.3.2.	Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.....	10
2.3.3.	Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte	11
2.4.	Marco conceptual	11
2.4.1.	Textiles inteligentes	11
2.4.2.	La tecnología háptica	12
2.4.3.	Actuadores de vibración	13
2.4.4.	Arduino IDE.....	14
CAPÍTULO III.....		16
METODOLOGÍA		16
3.1.	Enfoque de la investigación mixta	16
3.2.	Tipos de investigación.....	16
3.3.	Técnicas de investigación.....	17
3.4.	Normas de referencia	17
3.4.1.	AATCC 22-2014: Repelencia al agua	17
3.4.2.	ISO/IEC 25010: Requisitos y evaluación de la calidad de sistemas y software (SQuaRE) - Modelo de calidad del producto.....	18
3.5.	Flujogramas	18
3.5.1.	Flujograma general	19
3.5.2.	Flujograma muestral	19
3.6.	Equipos y materiales	20

3.6.1.	Máquina recta.....	21
3.6.2.	Spray Tester	21
3.6.3.	Materiales de laboratorio	22
3.6.4.	Materiales principales que componen el prototipo	23
3.7.	Procedimiento.....	29
3.7.1.	Diseño del prototipo textil inteligente.....	29
3.7.2.	Evaluación del material textil bajo la norma AATCC 22-2014	30
3.7.3.	Modelado en Audaces, corte y confección del chaleco	31
3.7.4.	Modelado manual, corte y confección del manillar.....	33
3.7.5.	Esquemmatización de los circuitos integrados	33
3.7.6.	Integración electrónica.....	35
3.7.7.	Programación de módulos.....	36
CAPÍTULO IV		38
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		38
4.1.	Resultados	38
4.1.1.	Pruebas de campo	38
4.1.2.	Conformidad del usuario.....	39
4.1.3.	Análisis multidimensional de la conformidad	40
4.1.4.	Repelencia a los fluidos del tejido base	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		43

5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Colores de las luces direccionales según la norma NTE INEN 155:2015	9
Tabla 2 Elementos requeridos para el ensayo de repelencia a los fluidos	22
Tabla 3 Generalidades de la cinta reflectiva	23
Tabla 4 Características técnicas del hilo conductor	24
Tabla 5 Generalidades del neopreno laminado a doble cara	24
Tabla 6 Generalidades del strap con hebilla	25
Tabla 7 Especificaciones técnicas del pulsador NA	25
Tabla 8 Especificaciones técnicas de las tiras LED SMD 5050	26
Tabla 9 Detalles técnicos del ESP32.....	27
Tabla 10 Especificaciones técnicas del actuador	27
Tabla 11 Especificaciones técnicas de la batería de litio	28
Tabla 12 Detalles técnicos del power bank.....	28
Tabla 13 Asignación de pines del módulo emisor	34
Tabla 14 Asignación de pines del módulo receptor	35
Tabla 15 Condiciones ambientales y de tránsito durante las pruebas de campo	38
Tabla 16 Encuesta para la evaluación de la conformidad	39
Tabla 17 Resultados AATCC 22-2014	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Estadio de la UTN, laboratorio y máquinas textiles de la CTEX	5
Figura 2 Textiles inteligentes para visibilidad y señalización	9
Figura 3 Componentes básicos de un sistema textil inteligente	11
Figura 4 Tipos de receptores sensoriales de la piel.....	13
Figura 5 Localización de los actuadores de vibración del TactaVest.....	14
Figura 6 Arduino IDE	15
Figura 7 Parámetros de calidad definidos por la ISO/IEC 25010:2023 aplicados en el prototipo.....	18
Figura 8 Proceso de elaboración del prototipo textil inteligente	19
Figura 9 Flujograma muestral.....	20
Figura 10 Máquina recta JUKI	21
Figura 11 Spray de repelencia.....	22
Figura 12 Bosquejo del prototipo de chaleco de seguridad	29
Figura 13 Bosquejo del prototipo de manillar	30
Figura 14 Modelado del prototipo en el software Audaces Patrones y Audaces Tizada.....	31
Figura 15 Cursograma sinóptico del proceso de confección del chaleco	32
Figura 16 Diagrama de conexiones eléctricas de los módulos emisor y receptor	33
Figura 17 Integración electrónica en chaleco y manillar	36
Figura 18 Gráfico radial de validación técnica porcentual	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Tabla de calificaciones de la prueba de pulverización.....	50
Anexo 2 Prueba de repelencia al agua sobre el tejido neopreno.....	51
Anexo 3 Tendido, corte y confección del chaleco.....	51
Anexo 4 Elaboración del manillar para bicicleta con integración electrónica.....	51
Anexo 5 Pruebas de campo.....	52
Anexo 6 Colocación del chaleco inteligente con vinculación del mando en el manillar	53
Anexo 7 Encuesta de conformidad	54
Anexo 8 Código del manubrio (emisor)	55
Anexo 9 Código del chaleco (receptor)	56

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. El problema

1.1.1. *Problema de investigación*

Los siniestros de tránsito en la vía pública constituyen una grave problemática de seguridad para los ciclistas; según la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2023), cada año fallecen alrededor de 1,19 millones de personas por accidentes de tránsito, de los cuales un 6 % corresponde a ciclistas; además, muchas personas que sobreviven a estos accidentes sufren traumatismos no mortales que pueden derivar en discapacidades permanentes.

A nivel nacional, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2025) reporta que en el año 2024 se registraron 45.607 personas involucradas en siniestros de tránsito, de las cuales el 45,20 % (20.614 personas) resultaron víctimas. De este grupo, el 0,33 % correspondió a ciclistas. Una de las causas de estos accidentes es la carencia de una comunicación efectiva entre los actores viales debido a la falta de señales direccionales claras de los ciclistas hacia los otros usuarios de la vía.

En este contexto, el desarrollo de un chaleco funcional con un sistema de iluminación integrado para mejorar la seguridad vial representa una alternativa innovadora. Este diseño busca mejorar la comunicación del ciclista con los conductores, reduciendo los riesgos de accidentes, por ello se plantea un sistema textil inteligente que incorpore hilos conductores, permitiendo una integración eficiente y discreta de los componentes electrónicos. Este sistema incluirá una matriz de LEDs ubicada en la parte posterior del chaleco, capaz de proyectar flechas direccionales que indiquen las intenciones de movimiento del ciclista; acompañado de un diseño que mantenga la flexibilidad y ligereza de la prenda, a fin de preservar la movilidad y el confort del usuario.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar un textil inteligente con retroalimentación sensorial háptica para mejorar la seguridad y el tránsito de los ciclistas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar pautas generales sobre los textiles inteligentes y su aplicación con énfasis en la seguridad vial de usuarios pedalistas.
- Programar un sistema de señalización basado en LEDs y ESP32, incorporado al tejido mediante hilos conductores, cuya activación se realice mediante retroalimentación háptica.
- Elaborar un prototipo de prenda funcional que integre los componentes electrónicos destinados a la señalización vial del ciclista, garantizando tanto su seguridad como su comodidad.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo y la estabilidad de los elementos electrónicos integrados al tejido mediante pruebas de campo, junto con la conformidad percibida en su uso con base en la norma ISO 25010.

1.3. Formulación del problema de investigación

El presente proyecto se desarrolla bajo una metodología de tipo experimental debido a la elaboración de un prototipo de prenda funcional con integración tecnológica. Además, para la recopilación de datos, se aplicará un enfoque mixto, empleándose el método cuantitativo para medir la repelencia a los fluidos del tejido mediante la norma AATCC 22, y el método cualitativo para evaluar la experiencia de uso y el confort percibido por los usuarios al portar el prototipo.

Fabricar el sistema textil inteligente es un reto que involucra crear un chaleco con LEDs direccionales integrados en el espaldar y con señal vibratoria; las activaciones se realizarán inalámbricamente a través de botones ubicados en el manillar. Para este sistema, las conexiones se llevarán a cabo con la integración de hilos conductores y cables normales.

Para elaborar la estructura de la prenda se usará tela de neopreno dada sus características de flexibilidad y resistencia al agua, las cuales brindarán al usuario libertad de movimiento y protección de los componentes electrónicos de diferentes condiciones climáticas.

Para el desarrollo de las pruebas de campo se aplicará un muestreo por criterio, considerándose para este estudio un grupo de 10 ciclistas amateur que circulan en la ciudad de Ibarra, con una edad comprendida en un rango de 20 a 50 años. Un ciclista amateur se considera a aquel que practica ciclismo como pasatiempo o actividad recreativa, sin buscar la competición profesional. Las pruebas se establecerán en un horario fijo para el grupo de ciclistas.

Para la evaluación de la conformidad se utilizará el modelo de calidad basada en la norma ISO/IEC 25010, con un enfoque hacia cuatro características principales: funcionalidad, fiabilidad, rendimiento y usabilidad. Estos aspectos serán valorados a continuación de las pruebas de campo mediante encuestas. Estos parámetros son indispensables para validar que el textil inteligente cumpla con los estándares de calidad requeridos para su implementación en entornos reales.

1.4. Justificación

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de textiles inteligentes capaces de brindar nuevas soluciones funcionales en distintos ámbitos; entre ellos, la salud, el deporte, la moda y la seguridad personal. Con el alto crecimiento de los avances en tecnologías textiles, electrónica miniaturizada, biosensores, nanotecnología y nuevos materiales, los textiles inteligentes se presentan como el futuro de la industria textil (Júnior et al., 2022).

En este marco, el presente proyecto pretende, a través de la elaboración de un textil inteligente, mejorar la seguridad vial en el ámbito ciclístico, un sector donde las tasas de mortalidad y accidentes de tránsito se generan frecuentemente tanto a nivel nacional como internacional.

Según Herrera Chico et al. (2022), la seguridad vial debe estar orientada a garantizar el buen funcionamiento de la circulación vehicular y peatonal, siendo el objetivo salvar la vida de los peatones, conductores, ciclistas y todo individuo que participe dentro de la movilidad. De esta manera, el prototipo no solo representará una innovación tecnológica, sino que también busca ser una herramienta con gran potencial de impacto en la seguridad vial, la cual, mediante un sistema de direccionales con luces LED y retroalimentación sensorial háptica, se centre en la prevención de riesgos de colisión con vehículos motorizados o entre usuarios ciclistas.

De esta forma, el trabajo se alinea al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11: “Ciudades y comunidades sostenibles”, el cual busca que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros y sostenibles (Naciones Unidas, 2018). Bajo este contexto, el textil inteligente ayudará a fomentar una movilidad urbana más segura.

1.5. Características del sitio del proyecto.

El proyecto se realizará en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, en la Carrera de Textiles (CTEX) de la Universidad Técnica del Norte (UTN), la cual cuenta con los laboratorios y equipos normalizados, así como el área de patronaje y confección. La ubicación geográfica de estas instalaciones corresponde a las coordenadas (0°22'41.1"N 78°07'24.3"W). Adicionalmente, las pruebas de campo y la evaluación de la conformidad se efectuarán en las rutas diseñadas por diferentes clubes de ciclismo urbano.

Figura 1

Ubicación del Estadio de la UTN, laboratorio y máquinas textiles de la CTEX



Nota: La figura presenta una vista satelital de la Planta Académica Textil. Fuente: (Google Maps, 2025)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En los últimos años, diversos estudios e iniciativas han buscado soluciones que ayuden a mitigar los riesgos a los que se exponen los ciclistas en las vías; bajo este contexto, se presenta el trabajo de Raphaela & Navarrete (2024), cuyo objetivo principal fue implementar un sistema de direccionales inalámbricos para chalecos de ciclistas, utilizando la tecnología ESP-NOW, empleando un chaleco reflectivo.

Para este sistema, se optó por algunos componentes básicos. Estos incluían una batería de litio para darle energía, un módulo TP4056 para la carga de la batería y un ESP32 C3 para procesar las señales. También se agregó un interruptor para poder encender y apagar el sistema cuando se necesitara. Además, se colocaron cuatro botones en el manillar de la bicicleta para poder controlar las luces direccionales. Los resultados mostraron un buen funcionamiento. Donde se presentaba una comunicación rápida entre el controlador y los LEDs (Raphaela & Navarrete, 2024).

El uso de señalización LED en prendas de vestir también se evidenció en el trabajo realizado por Patarroyo Santos & Casanova Clavijo (2021), quienes desarrollaron una chaqueta con una matriz de luces LED RGB de 15 x 15 en el espaldar, iluminada mediante una transmisión de señales de luz de una motocicleta, usando Arduino con dispositivo bluetooth. En esta propuesta se logró dotar a la chaqueta de algunos requerimientos funcionales necesarios, los cuales son: la transmisión de diseños por medio de la matriz LED, la función de reflectancia del tejido, la capacidad de desmonte de la matriz LED y la impermeabilidad.

Asimismo, otra propuesta similar consistió en el desarrollo de una chaqueta con luces LED caracterizada por incluir luces blancas y naranjas tanto en la parte delantera y como en la posterior,

capaces de aumentar o disminuir su intensidad lumínica según la luz del ambiente, gracias a un sensor fotosensible; las pruebas mostraron una visibilidad de las luces de hasta 46 metros en un ambiente con luminosidad de 0 luxes (ambiente oscuro), y una visibilidad de 12 metros a 7400 luxes aproximadamente (ambiente claro) (Caro, 2023).

Otra iniciativa se trata de un prototipo de chaleco realizado por Sandoval Rubio (2020), el cual integra un sistema de luces LilyPad a modo de direccionales conectadas a una placa Arduino Mega 2560 que se caracteriza por su uso particular, ya que el usuario puede ejecutar dos opciones de comando para activar las direccionales. La primera es mediante comandos de voz tras presionar el ícono del micrófono, y la segunda pulsando el ícono de la direccional a comunicar. Mediante una serie de encuestas, los resultados mostraron una buena aceptación en torno a la funcionalidad del sistema de LEDs y la interfaz intuitiva de uso mediante la APK.

Desde una perspectiva de factibilidad y viabilidad, la elaboración de una prenda orientada a la seguridad vial en el ciclismo fue analizada en un estudio realizado por Villareal (2023), dicho estudio aplicó un enfoque PESTEL, abarcando los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales junto con un análisis financiero, con el fin de evaluar integralmente el entorno para el desarrollo de este tipo de prototipos en Colombia. Asimismo, mediante un análisis de patentes, competencias y costos, se expuso un panorama general que permitió decidir la viabilidad del desarrollo de este tipo de prendas. Los resultados obtenidos fueron positivos, concluyéndose que realizar este tipo de prototipos resulta factible y conveniente, brindando así fundamentos que aportan para la elaboración de este trabajo.

El proyecto busca aportar al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas aplicadas al campo de la seguridad vial ciclística, tomando en cuenta estudios previos para la comparación de los resultados obtenidos, de acuerdo con el objetivo general del presente trabajo.

2.2. Estudios previos

En esta parte, se exponen los factores críticos que motivan la investigación, analizando las limitaciones de seguridad actuales, el marco normativo de señalización y las soluciones tecnológicas en el ámbito de los textiles inteligentes.

2.2.1. Limitaciones de la seguridad vial ciclística

La seguridad del ciclista en entornos urbanos y recreativos depende de la facilidad de prever sus maniobras. Johnson et al. (2010) reportan que aproximadamente el 70.3% de los accidentes suceden en las intersecciones, lo que se asocia a problemas en la comunicación visual. En la práctica, el uso de gestos manuales resulta limitado en condiciones de baja luminosidad y puede comprometer la estabilidad dinámica del usuario al retirar una mano del manubrio. Este trabajo aborda dicha limitación a través de la automatización de señales luminosas con mando de activación integrada.

2.2.2. Interfaces textiles inteligentes (wearables)

En los últimos años, los wearables han evolucionado hasta interfaces activas que integran sistemas de iluminación en prendas como chalecos, cinturones y mochilas, tal y como se muestra en la **Figura 2**. No obstante, algunos dispositivos comerciales actuales presentan vulnerabilidades críticas asociadas al incumplimiento de las cromáticas normativas y la susceptibilidad de falsas señales por interferencias inalámbricas.

Figura 2

Textiles inteligentes para visibilidad y señalización



Fuente: (Ruiz, 2015)

Para garantizar la legibilidad universal del prototipo, se adoptan los criterios de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 155:2015 detallados en la **Tabla 1**. Esta norma estandariza los códigos visuales para vehículos motorizados, los cuales se extenderán al sistema para asegurar una interpretación intuitiva por parte de los conductores.

Tabla 1

Colores de las luces direccionales según la norma NTE INEN 155:2015

Ubicación de luz direccional	Color
Delantera	Ámbar
Lateral	Ámbar
Posterior	Ámbar o rojo

Nota: La integración de esta cromática ayuda a la uniformidad visual en la vía, reduciendo el tiempo de respuesta de los conductores ante la señalización del ciclista. Fuente: (INEN, 2015)

2.2.3. Conectividad inalámbrica y procesamiento de baja latencia

El microcontrolador ESP32 es muy útil en muchos proyectos. Esto se debe a sus características positivas notables: su bajo consumo de energía, la capacidad para procesar información eficientemente y, por último, su conexión sin cables a otros dispositivos por medio de internet y bluetooth. Raphaela & Navarrete (2024) afirman que la comunicación se establece casi al instante con respuestas notablemente rápidas. Esta capacidad ayudará a eliminar el tiempo de espera en la transmisión de datos desde el mando del manubrio hacia el sistema de luces.

2.3. Marco legal

Las bases legales que respaldan este trabajo investigativo se fundamentan en el marco jurídico vigente del país, especialmente en la constitución de la República del Ecuador y en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

La primera sección “Principios Fundamentales”, artículo 3, numeral 1 de la (Constitución de la República del Ecuador, 2021) menciona que es deber primordial del Estado, “Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes” (p. 9).

2.3.2. Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.

La Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial (2018), de los actores de la seguridad vial, estableció en su tercera sección, en el artículo 204, relacionado con los ciclistas y sus derechos, donde se menciona que los ciclistas tienen derecho a:

- a) Transitar por todas las vías públicas del país, con respeto y seguridad, excepto en aquellos en la que la infraestructura actual ponga en riesgo su seguridad como túneles y

pasos a desnivel sin carril para ciclistas en los que se deberá adecuar espacios para hacerlo.
(p. 48)

2.3.3. Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte

La Universidad Técnica del Norte [UTN] (2024) promueve la investigación a través de 10 líneas vigentes que orientan el desarrollo académico y tecnológico para el progreso social, científico e industrial. En este contexto, el presente trabajo se enmarca en la línea nueve de investigación “Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico”.

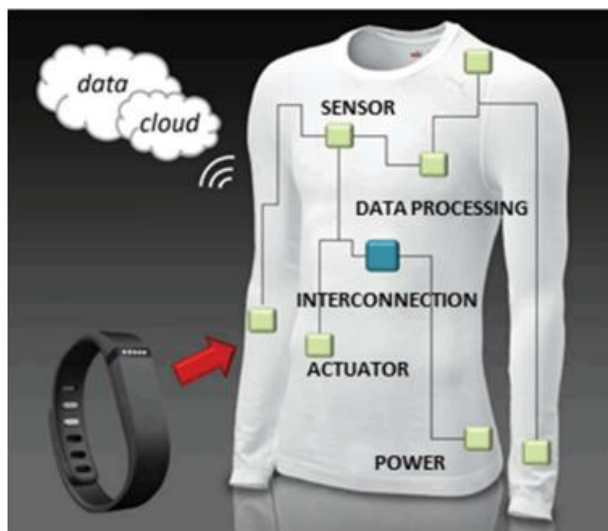
2.4. Marco conceptual

2.4.1. Textiles inteligentes

El término en cuestión hace referencia a los materiales textiles capaces de interactuar con el entorno, así como a los sistemas textiles inteligentes, caracterizados por componer en su estructura los siguientes elementos básicos: sensor, actuador, un dispositivo de gestión de la información y una fuente de energía, tal y como se ilustra a continuación.

Figura 3

Componentes básicos de un sistema textil inteligente



Fuente: (Lidón, 2022)

El sistema textil inteligente es capaz de detectar y diferenciar múltiples estímulos externos, en conjunto con la recopilación y almacenamiento de una amplia variedad de señales de datos. De acuerdo con (Dulal et al., 2022), actualmente se clasifican tres generaciones de textiles inteligentes distinguidas por su nivel de actividad.

La primera generación corresponde a los textiles inteligentes pasivos, que se limitan a captar únicamente los estímulos externos, tales como la temperatura, radiación, humedad, sonido, movimiento o presión; su utilidad radica en la recopilación de datos. En la segunda generación se presentan los textiles activos, que además de percibir estímulos, generan una reacción de respuesta, como la termorregulación, el cambio de color o la retroalimentación háptica. Finalmente, la tercera generación se conforma de los textiles ultrainteligentes, considerados un peldaño más de los textiles activos, dado que añaden la capacidad de adaptarse a las condiciones del entorno.

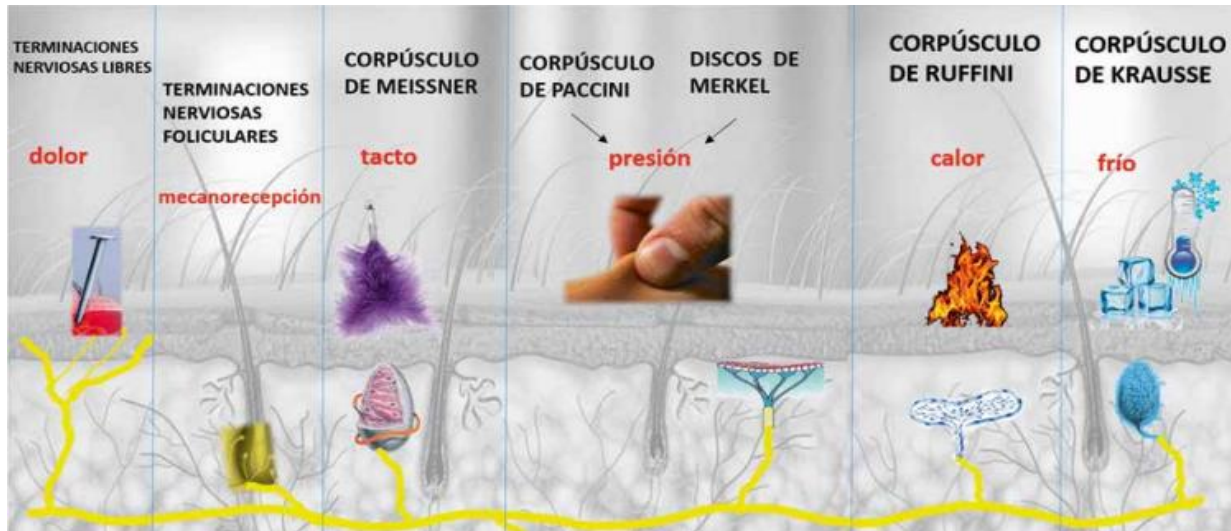
2.4.2. La tecnología háptica

Dada la creación de un textil inteligente de segunda generación, la tecnología háptica es un medio por el cual se realiza la emisión de respuestas al usuario. Estas interfaces tecnológicas interactúan con el ser humano a través del sentido del tacto, el mismo que funciona como canal sensorial para la comunicación física, obteniéndose de esta forma la retroalimentación háptica.

Entre los estímulos que comúnmente maneja dicha tecnología están la vibración, la presión y los impulsos eléctricos, los cuales son detectados por el sentido del tacto ubicado en la piel, el órgano más grande del cuerpo que alberga células especializadas conocidas como receptores sensoriales, los cuales, según su tipo, captan diferentes estímulos, como se detalla a continuación.

Figura 4

Tipos de receptores sensoriales de la piel



Fuente: (García & Alonso, 2021)

Según García & Alonso (2021), estos receptores convierten la energía de los estímulos internos y externos, como la temperatura, presión, vibración, entre otros, en señales nerviosas que se transmiten por una serie de neuronas hacia la médula espinal, permitiéndose así que la información llegue a las regiones cerebrales específicas. Es así como se hace posible la interpretación consciente de las sensaciones físicas.

2.4.3. Actuadores de vibración

Los actuadores forman parte de la tecnología háptica aplicable en indumentaria inteligente, dada su capacidad de ejecutar acciones físicas en respuesta a una señal eléctrica o instrucción de un microcontrolador (Ortiz Arciniega et al., 2025). Por medio de estos elementos, la prenda es capaz de generar estímulos físicos en su superficie, los mismos que el usuario puede interpretar como señal, mensaje, notificación o advertencia en base a los datos obtenidos del sensor.

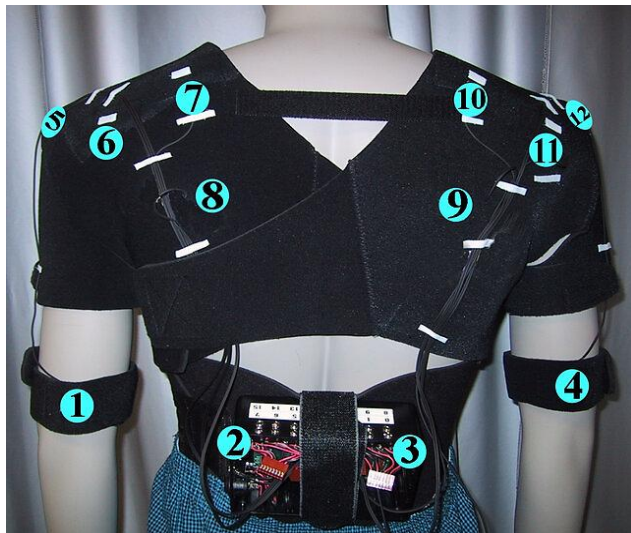
Entre los actuadores más utilizados en wearables, según Sánchez & Castromonte (2016), “Se pueden encontrar estimuladores de impacto, electrodos y actuadores de vibración” (p. 38).

Con enfoque en el tercer tipo, en el trabajo presente se utilizan los motores de vibración tipo excéntrico, que corresponden a pequeños actuadores de corriente continua con una masa colocada de una manera desbalanceada en su eje, el cual genera como resultado una fuerza irregular que al girar produce movimientos rápidos y repetidos, causando la sensación de vibración.

La obtención eficaz de la retroalimentación háptica depende de la posición adecuada de estos elementos, por lo cual su colocación se desarrolla en los puntos con mayor probabilidad de contacto. En base al estudio realizado por Lindeman et al. (2004), los puntos más influyentes se encuentran en los hombros, codos, homóplatos y dorsales, tal y como se observa en la **Figura 5**. Por cual, en base a las necesidades del prototipo, se utilizarán los puntos 8 y 9 (homóplatos).

Figura 5

Localización de los actuadores de vibración del TactaVest



Fuente: (Lindeman et al., 2004)

2.4.4. Arduino IDE

Este entorno de desarrollo integrado (IDE) permite el desarrollo de sistemas basados en microcontroladores como el ESP32, por lo cual se pueden realizar configuraciones de selección de placa, puerto de conexión, gestionar bibliotecas y paquetes pequeños. De la misma forma,

posibilita funciones avanzadas durante el desarrollo: el Monitor Serie para la depuración, el Trazador Serie para visualización de datos en tiempo real y, en caso de necesitar reconfigurar la placa, la opción para quemar el bootloader (código grabado en la memoria del microcontrolador).

Figura 6

Arduino IDE



Fuente: (Microsoft, 2025)

La herramienta de placas presenta un menú que incluye las opciones de Arduino UNO, Arduino Nano, ESP32, entre otras; la opción puerto, sirve para seleccionar el puerto al que está conectada la placa; el Monitor Serie para depuración es una consola que permite observar y enviar los datos en tiempo real entre la placa y la computadora; el Trazador Serie, por su parte, se usa para la visualización gráfica de los datos obtenidos de la placa en tiempo real; y por último, “quemar el bootloader” corresponde a la opción que permite reinstalar el bootloader en la placa (Ortiz Arciniega et al., 2025).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En este marco se describe el procedimiento ejecutado en función de los objetivos del estudio, bajo un enfoque mixto y un diseño experimental. Asimismo, se detallan los métodos de recolección, análisis de datos, y el proceso de manufactura que integra el modelado textil con la implementación de los circuitos electrónicos.

3.1. Enfoque de la investigación mixta

Este enfoque se adopta para la evaluación integral del prototipo, combinando el componente cuantitativo en la medición del grado de repelencia a los fluidos del material textil seleccionado (neopreno), para la obtención de datos técnicos caracterizados como “sólidos y repetibles” (Souza et al., 2013, p. 88). Por su parte, el componente cualitativo se centra en la obtención de datos no generalizables para la evaluación de los criterios de conformidad del ciclista en su interacción con el sistema textil inteligente.

3.2. Tipos de investigación

El proyecto se desarrolla bajo un modelo de investigación aplicada, que tiene por objetivo “la generación de conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad” (Lozada, 2014, p. 35), donde se vinculan los fundamentos de la ingeniería textil y electrónica en el diseño y la creación de una solución funcional que minimice la problemática de seguridad presente en la población de estudio. Asimismo, se integra la investigación experimental, definida por la manipulación de variables para analizar su impacto (Ramos, 2021); un método aplicado para la evaluación de la influencia del diseño estructural y el funcionamiento del producto en la optimización de la señalización y visibilidad del ciclista.

Finalmente, se integra la investigación descriptiva, en donde, de acuerdo con Lara (2017), se definen las características de objetos o procesos. En función del proyecto, se busca conocer la capacidad de repelencia a los fluidos del neopreno, una propiedad con la cual se puede valorar el desempeño práctico del producto final.

3.3. Técnicas de investigación

En esta investigación se aplica una técnica experimental de campo mediante pruebas en entornos reales de conducción, recolectándose datos cualitativos basados en la experiencia directa de la población de estudio, conformada por un grupo de ciclistas seleccionados bajo un muestreo por criterio, asegurando que los evaluadores cumplieran con el perfil definido para el estudio. A partir de esta experiencia, se aplica la encuesta estructurada como instrumento de recolección, donde los participantes califican su conformidad con el prototipo bajo cuatro atributos de la norma ISO 25010 detallados en la **Figura 7**, obteniéndose respuestas basadas en una escala tipo Likert, generando datos ordinales para su posterior análisis.

Por otro lado, se realiza un ensayo experimental de laboratorio siguiendo las directrices de la norma AATCC 22 para caracterizar la propiedad de repelencia a los fluidos del tejido.

3.4. Normas de referencia

Para la evaluación del tejido base definido para la estructura del sistema textil inteligente, así como para la medición de la conformidad del producto, se toman como sustento metodológico las siguientes normas técnicas.

3.4.1. AATCC 22-2014: Repelencia al agua

Este método es aplicable a los tejidos textiles con o sin acabado previo mediante el proceso de pulverización controlada. Para la evaluación del neopreno laminado a doble cara (especificado

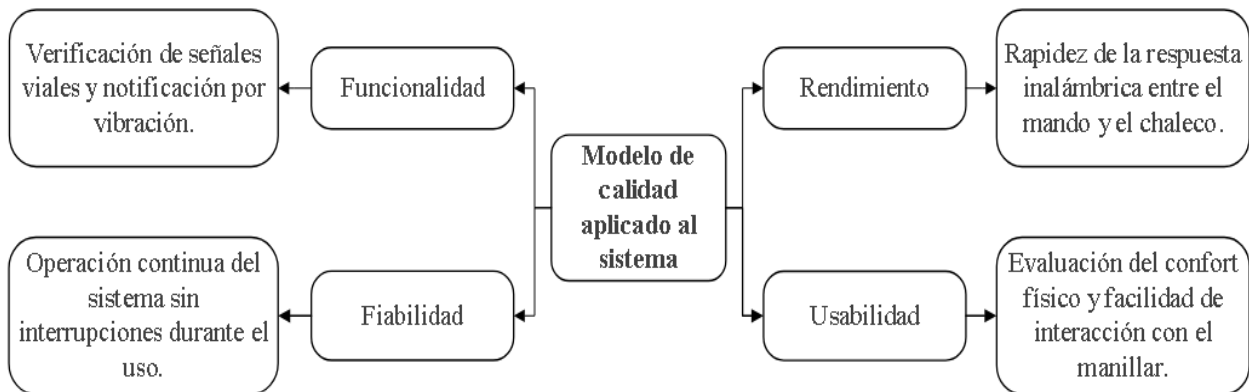
en la **Tabla 5**), se ha considerado como cara del tejido para el ensayo la superficie destinada a ser el exterior del chaleco, el cual se compone de una capa de tejido de punto de poliéster negro.

3.4.2. ISO/IEC 25010: Requisitos y evaluación de la calidad de sistemas y software (SQuARE) - Modelo de calidad del producto.

Mediante esta norma se establece el marco para la medición de la calidad interna, externa y en uso del producto final, siendo el eje de validación de desempeño del sistema textil inteligente. Para esta investigación se han seleccionado cuatro parámetros críticos que fundamentan el instrumento de evaluación de conformidad, cuyas definiciones y aplicaciones específicas se detallan en la siguiente figura.

Figura 7

Parámetros de calidad definidos por la ISO/IEC 25010:2023 aplicados en el prototipo



3.5. Flujogramas

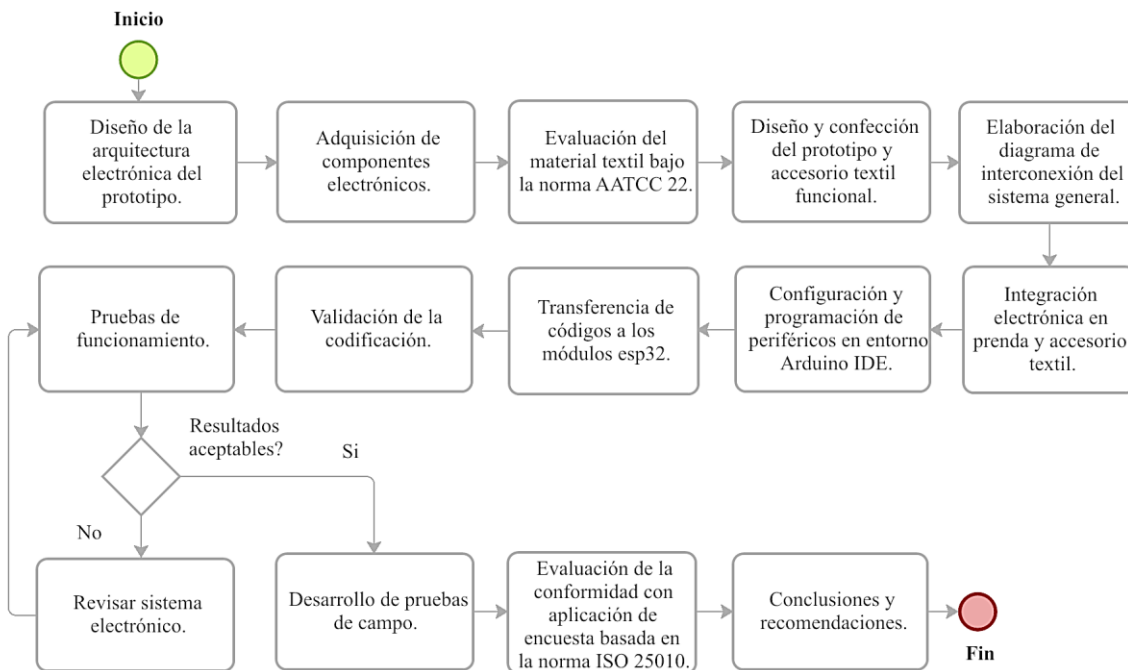
A través de los flujogramas se representan de manera gráfica y secuencial los procesos realizados en el desarrollo práctico del proyecto para el cumplimiento de los objetivos, utilizando símbolos estandarizados que comunican acciones, decisiones, y flujos de información relevantes, facilitando la comprensión de las etapas críticas del mismo.

3.5.1. Flujograma general

En la **Figura 8**, se muestra el proceso general del desarrollo del chaleco inteligente con retroalimentación sensorial háptica, abarcando desde el diseño de la arquitectura electrónica del prototipo hasta la integración de los componentes electrónicos en el alojamiento interno textil, y su preparación para la evaluación final en pruebas de campo.

Figura 8

Proceso de elaboración del prototipo textil inteligente

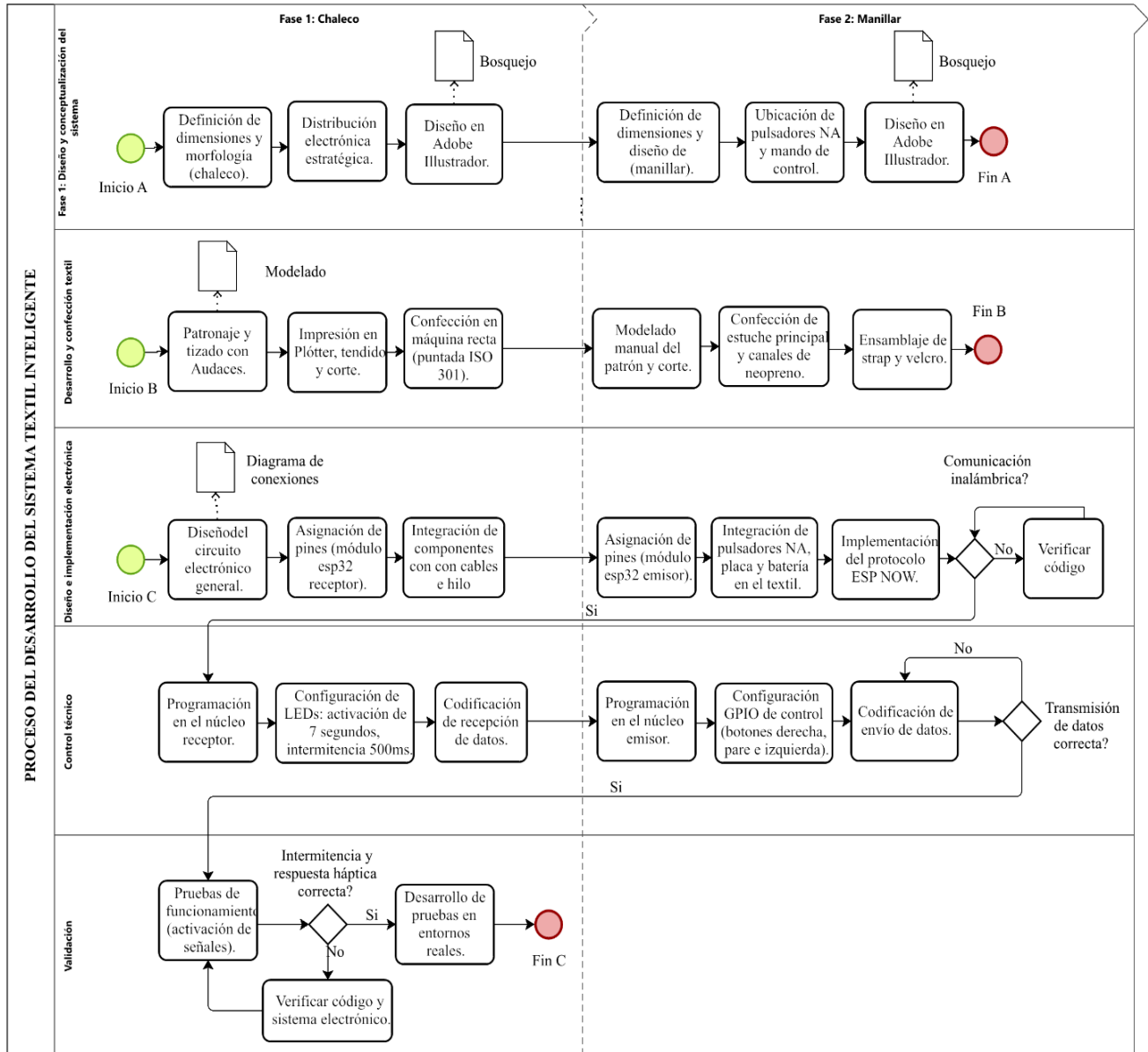


3.5.2. Flujograma muestral

En la **Figura 9**, se desglosa la arquitectura de procesos dividida en las fases de chaleco y manillar, estableciendo la ruta crítica para la integración del sistema. El flujo abarca las etapas de manufactura, vinculación de módulos mediante protocolos inalámbricos y el diseño de la lógica de control general para los periféricos de entrada y salida, los mismos que requieren ser validados para su aplicación en entornos reales.

Figura 9

Flujograma muestral



3.6. Equipos y materiales

Los equipos son los instrumentos y maquinaria utilizados en las tareas de fabricación, montaje y evaluación.

3.6.1. Máquina recta

Equipo industrial diseñado para costura de puntada recta con alta precisión y uniformidad, formada por dos hilos (superior e inferior), que permite el ensamblaje adecuado de la prenda y garantiza un acabado de alta calidad. En la **Figura 10**, se presenta la máquina de coser recta marca JUKI, la cual cuenta con un sistema electrónico de alimentación de 110 V y un sistema electromecánico accionado por un motor de 3450 rpm.

Figura 10

Máquina recta JUKI



Fuente: Propia

3.6.2. Spray Tester

Equipo normalizado AATCC 22-2014, utilizado para evaluar la repelencia al agua en la superficie de materiales textiles utilizando la prueba de rociado. En la **Figura 11** se muestra el equipo del laboratorio CTEX, el cual se encuentra debidamente normalizado y calibrado, cuenta con su respectivo manual de instrucciones y garantiza resultados precisos en los ensayos.

Figura 11

Spray de repelencia



Fuente: Propia

3.6.3. *Materiales de laboratorio*

En la **Tabla 2** se detallan los elementos especificados por la norma AATCC 22-2014 para la elaboración de ensayos, los mismos que se utilizarán para asegurar la confiabilidad y reproducibilidad en el procedimiento.

Tabla 2

Elementos requeridos para el ensayo de repelencia a los fluidos

Materiales	Característica
Probeta graduada	Instrumento volumétrico con divisiones graduadas y capacidad de 250ml.
Agua destilada	Agua purificada, sin minerales ni contaminantes.
Cronómetro	Mide el intervalo de tiempo de rociado.

Fuente: Propia

3.6.4. Materiales principales que componen el prototipo


A continuación, se detallan los materiales que integran el prototipo, desde los insumos textiles hasta los elementos electrónicos necesarios para la operación del sistema.

a) Cinta reflectiva bicolor

Este material textil incorpora dos colores reflectantes en una misma tira para la alta reflectividad en la noche y alta visibilidad en el día. Se compone de un tr nsfer reflectivo gris de microesferas de vidrio de alto brillo (Reflomax, 2019), y el segundo reflectivo de color verde.

Tabla 3

Generalidades de la cinta reflectiva


Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Composición	100% Poliéster
	Ancho	2,5 cm
	Reflectividad mínima	330 candelas
	Reflectividad máxima	500 candelas
	Aplicaciones	Para prendas de alta visibilidad

Fuente: (Don Dotación, 2025)

b) Hilo conductor de acero inoxidable

Este material se obtiene mediante la combinación de fibras metálicas con fibras textiles tradicionales a través de procesos técnicos de mezcla y entrelazado. El hilo conserva las propiedades inherentes del acero inoxidable, tales como la resistencia a la corrosión, conductividad eléctrica y conductividad térmica. Debido a su baja resistencia (alrededor de 10 ohmios por pie), es adecuado para conectar componentes electrónicos que operan con corrientes por debajo de los 100 mA. En la siguiente tabla se detallan las características técnicas de este tipo de material.

Tabla 4*Características técnicas del hilo conductor*

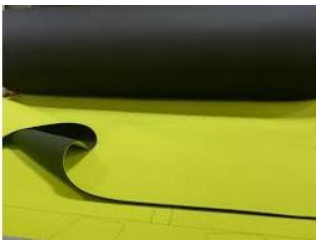
Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Material conductivo	Acero inoxidable
	Color	Gris
	Resistencia	10 ohmios/pie
	Capacidad de conducción	≤ 100 mA
	Tipo de lavado	Manual
	Aplicación	Para tecnología vestible

Fuente: (OnBuy, 2026)

c) Neopreno laminado a doble cara

Este material textil, compuesto por una lámina de caucho de neopreno adherida a tejidos de poliéster en las dos caras, brinda una superficie suave y adecuada para la moda. El neopreno, obtenido mediante la polimerización del cloropreno, destaca por sus propiedades de aislamiento térmico y resistencia química frente a agentes derivados del petróleo, agua y viento (Ünal & Eren, 2018). Su estructura laminar de 2 mm de grosor favorece el alojamiento interno de componentes electrónicos en la indumentaria técnica, protegiéndolo de la humedad y el desgaste ambiental.

Tabla 5*Generalidades del neopreno laminado a doble cara*

Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Laminado primera cara	Poliéster color negro
	Capa intermedia	Neopreno
	Laminado segunda cara	Poliéster amarillo
	Gramaje	482,35 g/m ²
	Grosor	2 mm


Fuente: (Konam, 2025)

d) Strap con hebilla de liberación rápida

Se integra cinta de polipropileno para el sistema de ajuste del chaleco por su alta resistencia a la tracción y durabilidad. La incorporación de hebillas de liberación rápida garantiza la fijación ergonómica al torso del ciclista, permitiendo un ajuste regulable. Este mecanismo favorece la usabilidad del prototipo al facilitar una colocación y retiro ágiles.

Tabla 6

Generalidades del strap con hebilla


Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Composición de correa	Polipropileno
	Color de cinta	Negro
	Ancho de correa	3 cm
	Dimensión de hebilla	35 mm x 45 mm (ancho x largo)
	Composición de hebilla	Plástico

e) Pulsadores Normalmente Abiertos (NA)

Los pulsadores NA funcionan como interruptores momentáneos que mantienen el circuito en estado abierto mientras no son accionados. En estado de reposo, el pin digital mantiene un nivel de voltaje constante. Al presionar el botón, el nivel desciende a 0 V, lo cual es interpretado por el microcontrolador como instrucción para activar las señales LED.

Tabla 7

Especificaciones técnicas del pulsador NA


Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Alimentación	3 – 5 V
	Corriente	50 mA
	Temperatura de operación	- 30 °C a 70 °C
	Dimensiones	6 mm x 6 mm (ancho x largo)

f) Tiras LED SMD 5050

El sistema de iluminación se conforma de tiras con tecnología SMD (Surface Mount Device) modelo 5050, que integra tres diodos LED en encapsulados de 5,0 mm x 5,0 mm, los cuales son montados sobre la superficie de una delgada placa de circuito impreso (PCB). Este diseño permite mayor densidad lumínica y versatilidad cromática mediante el control de canales RGB (rojo – verde - azul).

Tabla 8

Especificaciones técnicas de las tiras LED SMD 5050


Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Alimentación	12 V DC
	Intensidad de corriente	1,2 A/m
	LEDs/m	60
	Color de luz	RGB
	Dimensiones	1 cm x 500 cm (ancho x largo)
	Flujo luminoso	2400 lúmenes / rollo

Nota: Las siglas DC corresponden a corriente directa. Fuente: Propia

g) ESP32

El módulo ESP32 corresponde a la unidad de control del sistema, permitiendo la implementación de sketches programados en lenguaje C++ mediante el IDE de Arduino. Dispone de pines digitales configurables para leer y controlar los dispositivos electrónicos. Su ventaja principal es la compatibilidad con el protocolo ESP-NOW, el cual permite la comunicación directa y de baja latencia (inmediata) entre módulos iguales sin depender de una red Wi-Fi externa.

Tabla 9*Detalles técnicos del ESP32*


Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Procesador	Dual-core Xtensa
	Velocidad de reloj	Hasta 240 MHz
	Memoria RAM	520 KB
	Alimentación	3,3 a 5 V
	Pines	30
	Conectividad	Wi-fi y Bluetooth
	Voltajes de entradas/salidas	3.3 V DC

Fuente: (Ortiz Arciniega et al., 2025)

h) Micromotor vibrador excéntrico

Este actuador de bajo peso constituye la fuente de transmisión de estímulos hápticos al usuario, mediante la conversión de señales eléctricas en vibraciones. La intensidad generada es directamente proporcional a la velocidad de giro del motor, la cual depende del grado de tensión o voltaje de alimentación suministrado.

Tabla 10*Especificaciones técnicas del actuador*

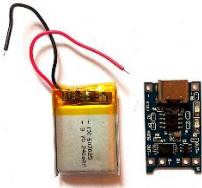
Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Rango de tensión	3 a 3,7 V DC
	Consumo energético	435 a 585 mA
	Peso	15 g
	Velocidad	4200 a 5000 rpm
	Peso	14,5 g

i) Batería de litio

La tecnología de iones de litio ofrece una alta densidad energética en un formato compacto, lo que permite alimentar la unidad de control manteniendo un bajo peso y dimensiones reducidas. Además, su condición recargable favorecerá la autonomía portátil del sistema en el manillar.

Tabla 11

Especificaciones técnicas de la batería de litio


Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Voltaje	3,7 V
	Capacidad máxima	240 mAh
	Dimensiones	37 x 20 x 6 mm
	Característica	Recargable

j) Power bank

El banco de energía proporciona una fuente de alimentación estable al microcontrolador y a los módulos periféricos conectados por medio de una interfaz USB de 5V. Su capacidad asegura el funcionamiento continuo del sistema, permitiendo además el monitoreo del nivel de carga por medio de una pantalla LED.

Tabla 12

Detalles técnicos del power bank

Material	Descripción	Especificaciones técnicas
	Capacidad	10000 mAh
	Energía nominal	37 Wh/3,7 V
	Entradas	Micro USB y tipo C
	Salida USB	5V/ 3A, 9V/ 2A, 10V/2,25A y 12V/ 1,5A
	Salida tipo C	5V/ 3A, 9V/ 2,22 A, 10V/ 2,2A y 12V/ 1,5A
	Modelo	PWB-10 ABK

3.7.Procedimiento

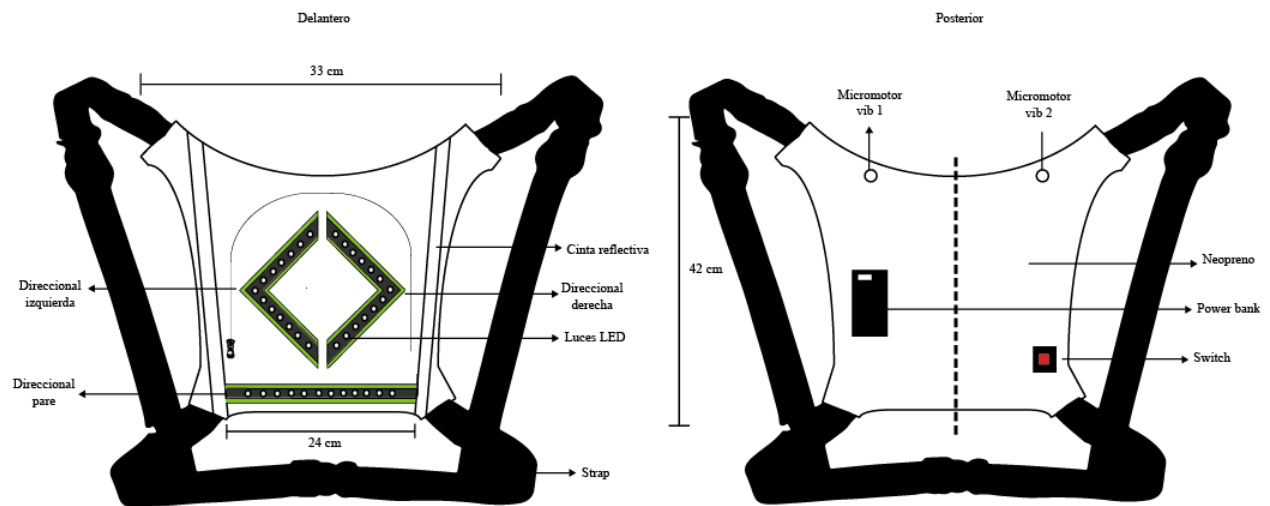
El desarrollo del sistema textil inteligente se dividió en etapas consecutivas que abarcaron desde la concepción ergonómica hasta la validación del material textil e integración electrónica.

3.7.1. *Diseño del prototipo textil inteligente*

En la primera etapa se desarrolló el diseño conceptual del chaleco inteligente utilizando el software Adobe Illustrator. En la **Figura 12** se presentan las dimensiones generales de la prenda y su sistema de sujeción, conformado por correas ajustables con hebillas de liberación rápida que permiten su adaptación a diferentes morfologías corporales. El diseño incorpora además la distribución estratégica de los componentes electrónicos bajo criterios de visibilidad, equilibrio de peso y protección del hardware.

Figura 12

Bosquejo del prototipo de chaleco de seguridad

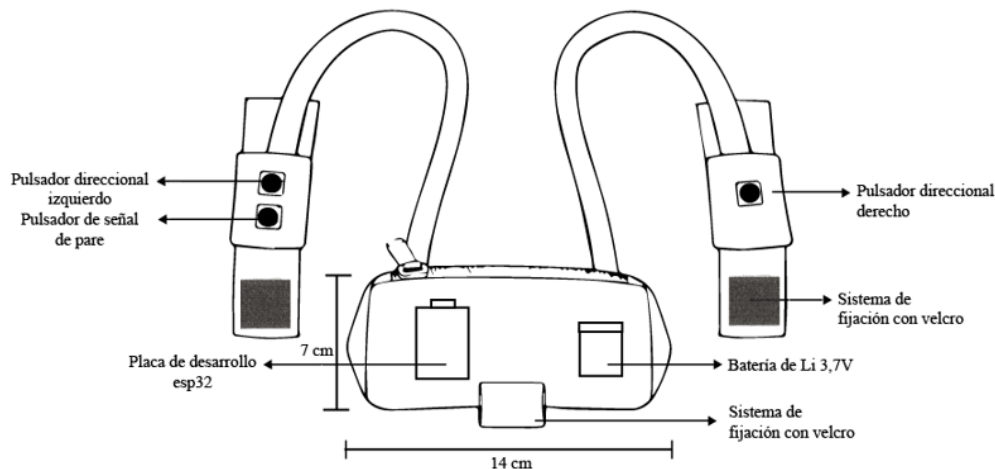


Posteriormente, se realizó el diseño conceptual del manillar para la bicicleta, el cual permitirá la activación de las señales LED mediante pulsadores. Este componente fue planteado para facilitar la interacción del usuario durante la conducción, garantizando una respuesta

inmediata sin comprometer la seguridad y el control vehicular. En la **Figura 13** se presenta el bosquejo correspondiente.

Figura 13

Bosquejo del prototipo de manillar



3.7.2. Evaluación del material textil bajo la norma AATCC 22-2014

Determinado el neopreno como el tejido base, fue evaluado de acuerdo con la norma establecida para determinar la repelencia a los fluidos. Para esta prueba se prepararon 3 muestras de 180 mm x 180 mm, las cuales pasaron por las siguientes etapas.

- Posicionamiento de la muestra en el aro:** Las muestras de prueba se sujetan en un aro de 152,4 mm de diámetro, con la superficie del tejido expuesta a la pulverización y asegurándose de que el tejido esté liso y libre de arrugas. Las anomalías en la superficie textil pueden alterar en gran medida los resultados de la prueba.
- Ajuste del patrón en el centro del aro:** Sobre el soporte se coloca el aro con la cara del tejido hacia arriba, manteniendo el ajuste de su centro alineado al centro del patrón de rocío.

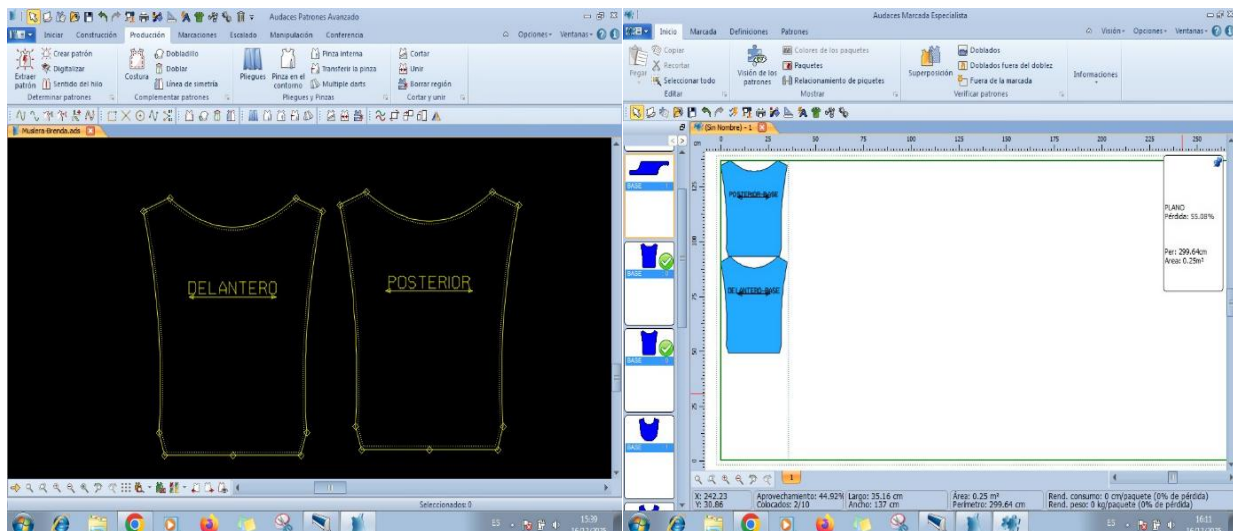
- c) **Prueba de repelencia:** Se vertió 250 ml de agua destilada en el embudo del equipo y se roció sobre la muestra de ensayo en un periodo de 25 a 30 segundos.
- d) **Golpeo del aro:** Por su borde inferior se agarra el aro y se lo golpea contra un objeto sólido; asimismo, se impacta en el mismo punto por segunda vez, girándolo 180°.
- e) **Evaluación cuantitativa:** Tras los golpes, se evaluó la superficie de las muestras de ensayo, considerando los aspectos de humedad y extensión de absorción. De acuerdo con los diferentes tipos de adherencia observada se asignó la calificación en torno a estándares establecidos en la norma AATCC 22-2014 (**Anexo 1**).

3.7.3. Modelado en Audaces, corte y confección del chaleco

Una vez seleccionado el material textil, se procedió con el diseño del patrón utilizando el programa Audaces, en base a las medidas determinadas en la **Figura 12**. Posteriormente, se realizó al tizado automático en el software Audaces Tizada, optimizando el consumo de tela para minimizar el desperdicio, obteniéndose un aprovechamiento del 44,92%. Por último, el modelo se exporta en formato PDF para su impresión en plóter utilizando Sinajet Plotter Control Center.

Figura 14

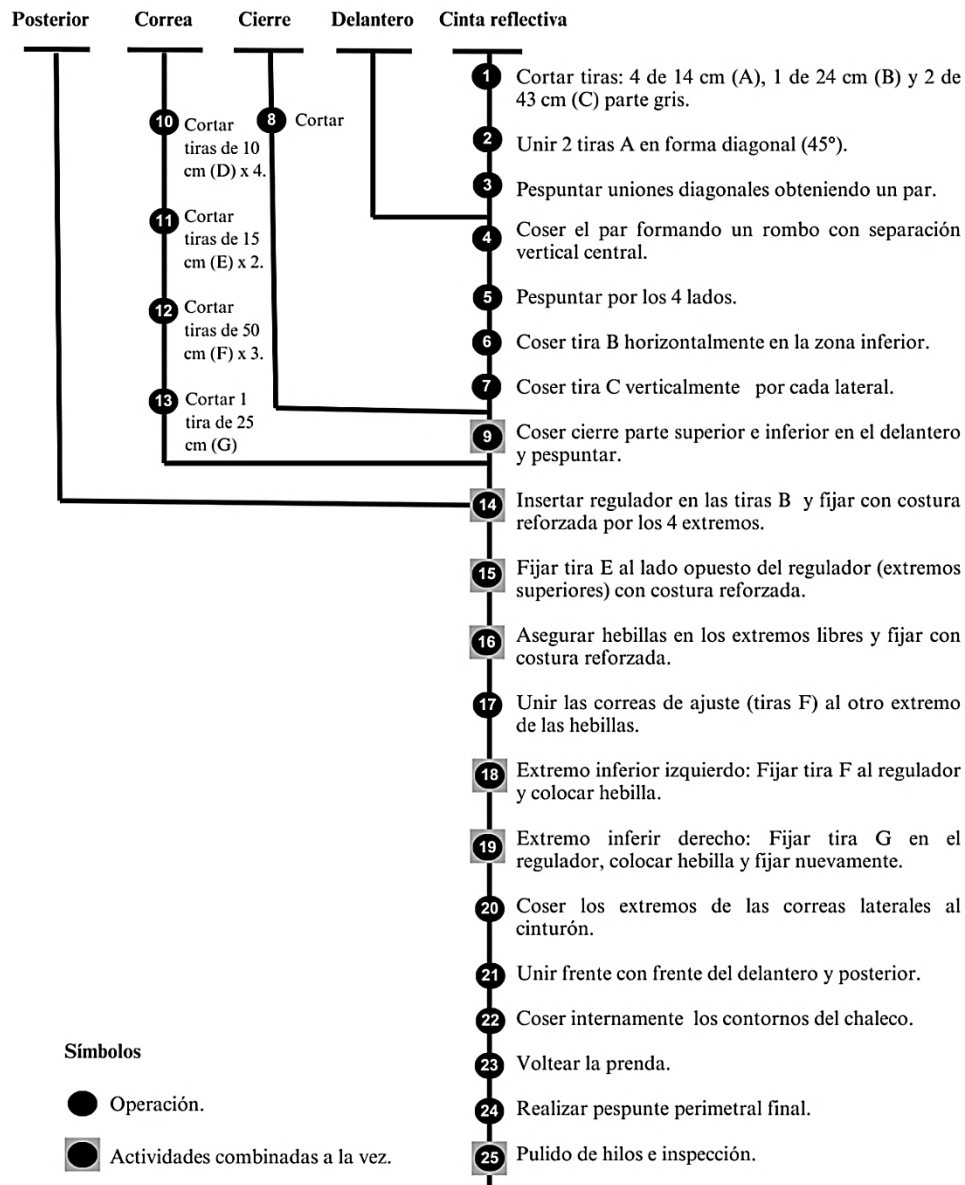
Modelado del prototipo en el software Audaces Patrones y Audaces Tizada



Utilizando el patrón impreso, se realizó la adhesión del papel sobre la superficie del material textil y el corte de las distintas piezas. Posteriormente, se señaló y aperturó el área destinada a la colocación del cierre en la pieza del delantero. La etapa final de confección se describe en la **Figura 15**, donde se utilizó de forma exclusiva la máquina de coser recta aplicando la puntada ISO 301. El procedimiento práctico se encuentra documentado en el **Anexo 3**.

Figura 15

Cursograma sinóptico del proceso de confección del chaleco



3.7.4. Modelado manual, corte y confección del manillar

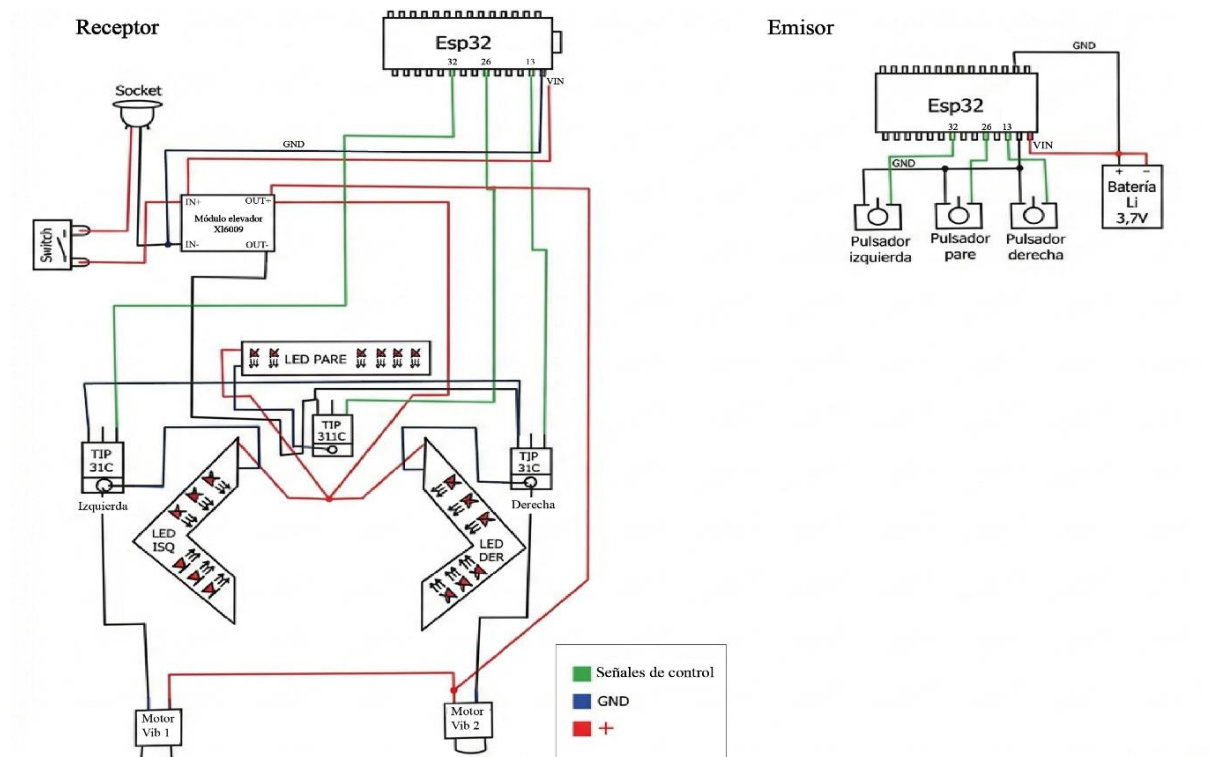
A diferencia del chaleco, el patrón del manillar y corte de piezas se desarrolló de manera manual (**Anexo 4**) tras la toma directa de las medidas del manubrio. La construcción del estuche principal y los canales de neopreno para el paso de corriente se efectuaron mediante costura en máquina recta; no obstante, el ensamblaje de las correas de sujeción y la integración electrónica (botones y cableado) se ejecutaron antes del sellado final de las piezas.

3.7.5. Esquematización de los circuitos integrados

El esquema general de los circuitos desarrollados se presenta en la **Figura 16**, en la cual se identifica el flujo de señales lógicas y de energía del sistema general compuesto por dos unidades: el módulo emisor, ubicado en el manillar, y el módulo receptor, integrado en el chaleco. La asignación de pines y sus funciones específicas se detallan en la **Tabla 13** y **Tabla 14**.

Figura 16

Diagrama de conexiones eléctricas de los módulos emisor y receptor



a) Módulo emisor

El módulo emisor captura las órdenes del ciclista mediante pulsadores NA configurados según la **Tabla 13**, para procesarlas y transmitir las hacia el módulo receptor mediante el protocolo de comunicación inalámbrica ESP-NOW. La alimentación de este módulo se realiza mediante una batería de litio independiente, obteniéndose un diseño autónomo.

Tabla 13

Asignación de pines del módulo emisor

Componente	Pin ESP32	Función técnica
Pulsador NA 1	GPIO 32	Entrada digital: giro izquierdo.
Pulsador NA 2	GPIO 13	Entrada digital: giro derecho.
Pulsador NA 3	GPIO 26	Entrada digital: detención o pare.
GND	GND	Referencia de tierra para pulsadores.
Batería de Li	VIN/GND	Alimentación.

b) Módulo receptor

En el módulo receptor gestiona el funcionamiento de las tiras LED SMD 5050 y los motores vibradores integrados en el chaleco, los cuales operan a una tensión de 12 V para obtener una señalización visual intensa con respuesta háptica de alta intensidad. Para la alimentación de este sistema, se presentan dos métodos de entrada de energía mediante un power bank:

- Conexión directa mediante el puerto USB del ESP32.
- Conexión externa a través de un conector socket USB Tipo C independiente, cuyo flujo energético se regula con un interruptor (switch) para encender o apagar el sistema general.

En ambos métodos, los 5 V suministrados del power bank se direccionan hacia un módulo elevador de voltaje (Step-Up), el cual incrementa la tensión hasta los 12 V requeridos por los LEDs para el suministro estable de energía.

Por otro lado, el control lógico de los direccionales y vibradores se realiza mediante transistores TIP 31C, siendo su puente de conexión con el microcontrolador, el cual enviará una señal digital de 3.3 V a la base del transistor, para que este a su vez permita la alimentación de corriente de 12 V. Asimismo, al retirar la señal lógica, el transistor entra en corte, interrumpiendo el flujo de energía. De esta forma, se protege al microcontrolador de corrientes elevadas.

Tabla 14

Asignación de pines del módulo receptor

Componente	Pin ESP32	Función técnica
Transistor TIP 31C (1)	GPIO 32	Control de LED y vibrador izquierdo.
Transistor TIP 31C (2)	GPIO 13	Control de LED y vibrador derecho.
Transistor TIP 31C (3)	GPIO 26	Control de tira LED central de pare.
Elevador de voltaje	VIN	Alimentación de LEDs y vibradores.
GND	GND	Referencia de tierra.

3.7.6. Integración electrónica

En esta fase, se dispusieron los componentes activos sobre el soporte textil, como se observa en la **Figura 17**. La interconexión física combinó dos métodos: el uso de hilos conductores para las líneas de vibración, permitiendo una elasticidad natural de la tela en la zona de los homóplatos donde se requiere mayor rango de movimiento, y el uso de cableado convencional para las líneas de potencia (LEDs y alimentación) centradas en la base externa e interna.

Figura 17

Integración electrónica en chaleco y manillar



3.7.7. Programación de módulos

El sketch del emisor tiene como objetivo capturar las señales físicas y convertirlas en comandos digitales. Para asegurar la comunicación estable con el módulo receptor, se vinculó la dirección física MAC del receptor (80:F3:DA:5D:E0:BC) en el código, garantizando la entrega de datos al módulo integrado en el chaleco. Las instrucciones principales del código del emisor en la gestión de datos son:

- **Struck_message:** El mensaje tiene un paquete de datos que lleva la variable de comando. Esto ayuda al receptor a saber qué valor entero tiene cada movimiento. Por ejemplo, 1 es para ir a la derecha, 2 es para parar y 3 para ir a la izquierda.
- **Esp_now_send():** Envía información en tiempo real al receptor. La dirección del receptor es su dirección física, también llamada MAC.
- **OnDataSent:** Confirma que el paquete ha sido entregado. Esto asegura que la conexión inalámbrica sea estable.

El módulo receptor, por su parte, gestiona a través de la función millis(), el parpadeo de los LEDs y la activación de los vibradores de forma simultánea. Los comandos fundamentales son:

- **OnDataRecv:** Obtiene el valor de la variable comando y reiniciar el temporizador.
- **Temporizador de 7 segundos:** Esta estructura lógica basada en la función millis () que controla el tiempo de exposición de las luces direccionales, apaga el sistema tras un periodo de inactividad para evitar el agotamiento innecesario del power bank.
- **Máquina de estados (switch-case):** Clasifica el comando recibido (1, 2 o 3) para activar los transistores correspondientes a la dirección solicitada.

Nota: Debido a la extensión y complejidad de las funciones de red, los códigos fuente debidamente comentados, se encuentran detallados en el **Anexo 8** (código emisor) y **Anexo 9** (código receptor) de este documento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Resultados

En este capítulo, se exponen los resultados de la conformidad del producto final fundamentada en el modelo de calidad de la norma ISO 25010. Así como también los resultados de la caracterización del tejido basado en la norma AATCC 22-2014.

4.1.1. Pruebas de campo

Para el estudio se escogió a 10 sujetos de prueba que cumplen con el perfil de ciclista amateur, en un rango de edad de 20 a 50 años. Las evaluaciones se realizaron en escenarios de bajo relieve, con sesiones de aproximadamente 50 minutos bajo un cronograma flexible adaptado a la disponibilidad de los participantes, lo que permitió registrar el desempeño del sistema en diversas franjas horarias que abarcaron desde la mañana hasta condiciones de iluminación nocturna (**Anexo 5**). Asimismo, las pruebas se llevaron a cabo utilizando bicicletas convencionales y de montaña, garantizando así la compatibilidad del dispositivo con manubrios de diámetro estándar y validando su versatilidad en distintos tipos de uso recreativo. En la tabla posterior se describen las condiciones climáticas y el nivel de movimiento vehicular registrados en cada sesión.

Tabla 15

Condiciones ambientales y de tránsito durante las pruebas de campo

Escenario	Condición climática	Nivel de tráfico	Frecuencia
Urbano	Despejado	Moderado	5
Urbano	Despejado	Bajo	1
Urbano	Despejado	Alto	1
Urbano	Nublado	Bajo	1
Urbano	Lluvia ligera	Moderado	1
Rural	Lluvia ligera	Moderado	1

4.1.2. Conformidad del usuario

En cumplimiento del cuarto objetivo específico, orientado a la evaluación del prototipo, se presenta la **Tabla 16**, con los resultados de la conformidad de los usuarios mediante la encuesta descrita en el **Anexo 7**, bajo la escala de Likert de cinco niveles (1 muy en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo), cuya métrica permite cuantificar las percepciones cualitativas obtenidas.

Tabla 16

Encuesta para la evaluación de la conformidad

Cód.	Parámetro	Calif. promedio	% Acep	Calif. promedio / criterio	% Acep.
F1	El sistema cumplió su función de apoyo a la comunicación vial.	4,9	98 %	4,85	97 %
F2	La notificación por vibración me ayudó a conocer el estado (activo/inactivo) de las direccionales.	4,8	96 %		
FI1	Las luces y vibración respondieron totalmente a las pulsaciones realizadas.	4,7	94 %	4,7	94%
FI2	El sistema operó sin presentar fallos durante su tiempo de uso.	4,7	94 %		
R1	La respuesta inalámbrica es inmediata	4,8	96 %	4,75	95%
R2	La vibración se percibe con claridad.	4,7	94 %		
U1	El confort del chaleco (peso, posición, ajuste y libertad de movimiento) es satisfactorio.	4,8	96 %	4,63	92,6%
U2	La ubicación del manillar y los botones en el manubrio fue adecuada y no estorbó.	3,7	74 %		
U3	El sistema es intuitivo y fácil de manejar.	4,8	96 %		

Nota: Los criterios de evaluación se agruparon en cuatro dimensiones clave procedentes de la norma ISO/IEC 25010: funcionalidad (F), fiabilidad (FI), rendimiento (R) y usabilidad (U).

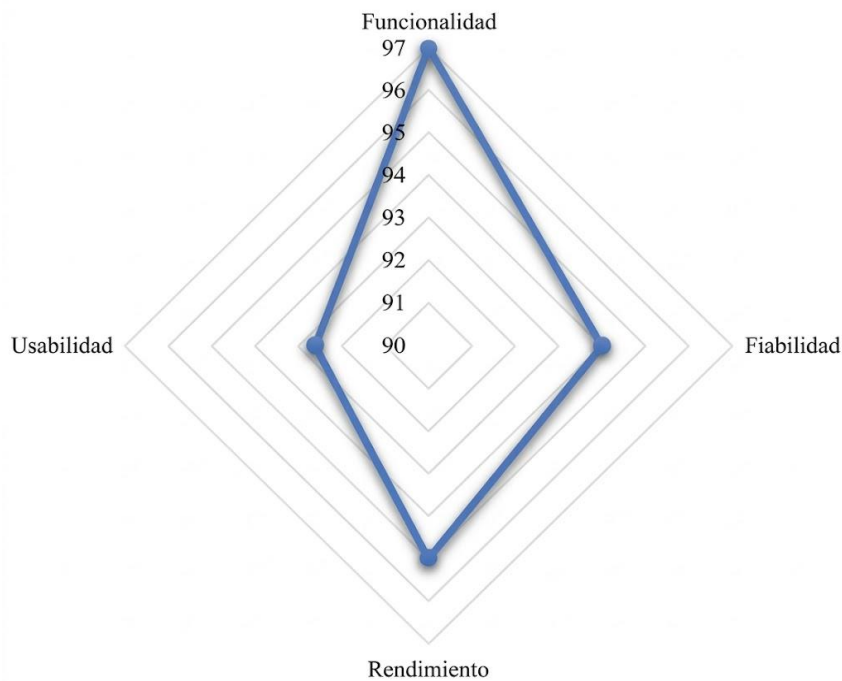
En el análisis estadístico se consideró la totalidad de las valoraciones recolectadas, garantizando el rigor estadístico con resultados imparciales. De esta forma, el porcentaje de aceptación se determinó mediante la relación entre el promedio alcanzado y el valor máximo de la escala (5), permitiendo la interpretación porcentual de cada parámetro y criterio.

4.1.3. Análisis multidimensional de la conformidad

Luego de consolidar la información en el gráfico de radar (**Figura 18**), se lleva a cabo un análisis técnico, que conecta la electrónica funcional y diseño del prototipo con la vivencia del usuario. Observando este diagrama, la cercanía de los puntos a los bordes exteriores sugiere un alto grado de conformidad y aceptación; por el otro lado, la contracción hacia el núcleo revela zonas que necesitan optimizarse.

Figura 18

Gráfico radial de validación técnica porcentual



La funcionalidad ha llegado a representar el ámbito de mayor desempeño, con un 97% de aceptación. Es decir, el prototipo ha logrado cumplir eficazmente la función de apoyo a la comunicación vial, con un 98% en el parámetro F1. Asimismo, complementado con una retroalimentación háptica efectiva en F2 (96%), con lo cual el ciclista ha podido confirmar el estado del sistema direccional de forma segura.

En estrecha relación con la eficacia funcional, los criterios de fiabilidad y estabilidad electrónica registraron un 94% de conformidad, validando la técnica de manufactura mediante la combinación de hilos conductores con cables tradicionales. La respuesta observada en este eje confirma que la integración de componentes es estable, puesto que no se registraron fallos catastróficos o desconexiones durante las evaluaciones.

Por otro lado, la eficiencia de desempeño o rendimiento, situada en un 95%, comprueba que la comunicación inalámbrica entre el manillar y el chaleco es prácticamente inmediata, con un 96% de aprobación en el parámetro R1. Técnicamente, con este resultado se ha logrado asegurar que el uso del protocolo de comunicación ESP NOW minimiza los tiempos de respuesta. De esta forma se ha obtenido una señalización oportuna para la prevención de incidentes viales.

Finalmente, la usabilidad pese a mostrar un promedio satisfactorio de 92.6%, representa el eje de mayor contracción en el gráfico radial. Con un 74% obtenido en el parámetro U2 se puede determinar que la ubicación de los controles en el manubrio, así como el diseño del mando, son los principales puntos de optimización, considerando resultados satisfactorios en el confort de la prenda con un U1 de 96%.




4.1.4. Repelencia a los fluidos del tejido base

Tras la evaluación funcional del prototipo, se analizó la capacidad de protección del material textil frente a agentes externos. En la **Tabla 17**, se detallan los patrones de

humedecimiento obtenidos tras someter tres muestras de neopreno trilaminado al ensayo de rociado, cuya valoración se basó en el método Standard Spray Test Rating (calificación de prueba de rociado estándar) descrito en el **Anexo 1**.

Tabla 17

Resultados AATCC 22-2014

Tela neopreno	Patrón humedecido	Standard Spray Test Ratings
Muestra 1		50 ISO 1
Muestra 2		50 ISO 1
Muestra 3		50 ISO 1

Una calificación de 50 indica una humectación completa de la superficie por encima de los puntos de rociado, representando alta absorción superficial en la capa externa constituida por tejido de punto de poliéster. Sin embargo, la lámina intermedia de neopreno limitó la penetración de líquidos, garantizando el bloqueo hidrostático, característica que permite asegurar el aislamiento del hardware interno de los prototipos bajo condiciones de humedad moderada (llovizna ligera), con un pequeño incremento en el peso de la prenda.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó que la eficacia del prototipo radica en la superación de las limitaciones detectadas en soluciones previas, tales como la vulnerabilidad a interferencias y la falta de estandarización. Mediante la adopción de la norma NTE INEN 155:2015, se garantizó la legibilidad vial con cromática ámbar, mientras que la integración de actuadores de vibración para la obtención de un textil inteligente de segunda generación consolidó un sistema de retroalimentación sensorial funcional, dando alcance al objetivo específico 1.
- En cumplimiento del objetivo 2, se programó un sistema de señalización basado en módulos ESP32 mediante el protocolo ESP-NOW, logrando una transmisión inalámbrica de datos en tiempo real entre mando y chaleco. Asimismo, el uso de la función millis () permitió el control de la intermitencia de LEDs en 500 ms, y el control de un temporizador de 7 s aseguró la activación y apagado automático, optimizando el consumo energético del sistema.
- La viabilidad técnica del prototipo se consolidó mediante una integración electrónica estratégica sobre neopreno, enmarcada en el objetivo 3, el cual proporcionó el aislamiento físico necesario en el desarrollo de conexiones mixtas utilizando hilos conductores y cableado convencional para la continuidad eléctrica estable; mientras que, en paralelo, los sistemas de fijación regulables garantizaron un ajuste ergonómico que optimiza seguridad vial y confort.
- La aplicación del modelo ISO/IEC 25010 verifica el cumplimiento del objetivo 4, evidenciando una confiabilidad del 94%, rendimiento 95%, usabilidad 92,6% y

adecuación funcional 97%, validando la estabilidad de la arquitectura implementada bajo estándares internacionales de calidad del producto software.

5.2. Recomendaciones

- Aislar el uso de hilos conductores exclusivamente a las líneas de alimentación eléctrica, evitando su conductividad en el envío de señales de control desde el ESP32, para prevenir la captación de interferencias que alteran el funcionamiento de los transistores TIP31C, garantizando una transmisión de comandos libre de fallos durante la señalización.
- Rediseñar el módulo de mando mediante un análisis biomecánico que optimice la accesibilidad de los pulsadores y, paralelamente, implementar una arquitectura de hardware desmontable con conectores rápidos; esto permitirá elevar el confort ergonómico y facilitar el mantenimiento textil mediante el lavado convencional.
- Orientar estudios posteriores hacia la reducción del peso y espacio de carga del sistema, considerando que los LEDs de alta luminosidad requieren alimentaciones mayores a 12 V para su funcionamiento, un requerimiento energético que demanda fuentes de poder robustas afectando la ligereza de la prenda.
- Desarrollar estudios de fotometría para evaluar la intensidad lumínica del sistema LED, contrastando los niveles de lux y candelas obtenidos con los estándares técnicos vigentes. Esto permitirá certificar el cumplimiento normativo de los requisitos mínimos de visibilidad exigidos en los sistemas de iluminación vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AATCC. (2015). *AATCC Technical Manual* (Vol. 85). <http://www.aatcc.org/>
- Caro, L. (2023). *Chaqueta para mejorar la visibilidad y señalización de los ciclistas en la vía* [Universidad de los Andes].
<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/19a89140-8ab3-4bef-87a1-562ff0429dcf>
- Constitución de la República del Ecuador, 449 Constitución de la República del Ecuador (2021).
- Don Dotación. (2025). *Cinta reflectiva bicolor verde gris 5 cm x 100 m*. Señalización vial.
<https://dondotacion.com/cinta-reflectiva-bicolor-verde-gris-5cm-x-100m/>
- Dulal, M., Afroj, S., Ahn, J., Cho, Y., Carr, C., Kim, I. D., & Karim, N. (2022). Toward sustainable wearable electronic textiles. *ACS Nano*, *16*(12), 19755-19788.
https://doi.org/10.1021/ACSNANO.2C07723/ASSET/IMAGES/LARGE/NN2C07723_0011.JPEG
- García, J., & Alonso, P. (2021). Anatomía y fisiología de la piel. *Pediatría Integral*, XXIV.
- Google Maps. (2025). *Ingeniería Textil UTN - Google Maps*.
<https://maps.app.goo.gl/Qzxh66tNE2Y9Xgzf7>
- Herrera Chico, M. F., Llamuca Llamuca, J. L., & Caguano Ñamo, J. G. (2022). Análisis de siniestros y estrategias para mejorar la seguridad vial en la ciudad de Riobamba. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 7, N°. 4 (ABRIL 2022), 2022, 7(4), 81.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8483038&info=resumen&idioma=SPA>

- INEC. (2025). *Estadísticas de transporte*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2024/iv_trimestre/2024_RESULTADOS_SINIESTROS_IVT.pdf
- INEN. (2015). *NTE INEN 1155*. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-del-norte/introduccion-al-derecho/nte-inen-11552015-vehiculos-automotores-mejorar-visibility/34346720>. NTE INEN 1155: Dispositivos para mantener y mejorar la visibilidad. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-del-norte/introduccion-al-derecho/nte-inen-11552015-vehiculos-automotores-mejorar-visibility/34346720>
- Johnson, M., Charlton, J., Oxley, J., & Newstead, S. (2010, enero). Estudio naturalista del ciclismo: Identificación de factores de riesgo para ciclistas que se desplazan al trabajo por carretera. *Ann Adv Automot Med*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3242541/>
- Júnior, H. L. O., Neves, R. M., Monticeli, F. M., & Dall Agnol, L. (2022). Smart fabric textiles: recent advances and challenges. *Textiles*, 2(4), 582-605. <https://doi.org/10.3390/TEXTILES2040034>
- Konam. (2025). *Tela neopreno*. Producto: tela neoprene bicolor. <https://konam.ec/producto/tela-neoprene-bicolor-35/>
- Lara, L. (2017). *Análisis comparativo de metodologías web para el desarrollo de un webquest en entornos virtuales de aprendizaje* [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7244>
- Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial, Legislation 1, LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL (2018). <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2021/08/LOTAIP_6_Ley-Organica-de-Transporte-Terrestre-Transito-y-Seguridad-Vial-2021.pdf

Lidón, J. (2022). *Estudio, desarrollo e implementación de sensores y actuadores realizados con tintes poliméricos sobre sustratos flexibles mediante diferentes técnicas de deposición* [Universidad Politécnica de València]. <https://doi.org/10.4995/THESIS/10251/187446>

Lindeman, R., Page, R., Yanagida, Y., & Sibert, J. (2004). Towards full-body haptic feedback: The design and deployment of a spatialized vibrotactile feedback system. *ACM Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, 146-149. <https://doi.org/10.1145/1077534.1077562>

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1).

Microsoft. (2025). *IDE de Arduino*. <https://apps.microsoft.com/detail/9nblggh4rsd8?hl=es-ES&gl=ES>

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks

OMS. (2023, diciembre 13). *Traumatismos causados por el tránsito*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

OnBuy. (2026). *Hilo conductor mediano de acero inoxidable Adafruit*. Hilo de coser. <https://www.onbuy.com/es/p/hilo-conductor-mediano-de-acero-inoxidable-adafruit-3-capas-18-metros60-pies~p114473570/>

- Ortiz Arciniega, J. L., Valencia Barahona, F. X., Bosmediano Cárdenas, C. P., Bastidas Jácome, A. D., Aguirre Chagna, V. H., & Jácome Ayala, P. J. (2025). *ESP32: manual básico para estudiantes* (1.ª ed.). Alumni Editora. <https://doi.org/10.70625/ALUMNED/9>
- Patarroyo Santos, M. E., & Casanova Clavijo, J. P. (2021). *Desarrollo de un chaleco o chaqueta inteligente que permite a motociclistas ser más perceptibles en las vías* [Universidad Piloto De Colombia]. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1799>
- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/10.33210/CA.V10I1.356>
- Raphaela, V., & Navarrete, Z. (2024). *Implementación de un sistema de direccionales inalámbrico para chalecos de ciclistas mediante el protocolo ESP-NOW*. [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25792>
- Reflomax. (2019, febrero). *Cinta reflectiva bicolor Oxford*. AAA Cintas reflectivas. <https://prointextil.com/producto/cinta-reflectiva-bi-color-oxford-transfer-4/>
- Ruiz, R. (2015). *Sistema de señalización para ciclistas* [Universidad Carlos III de Madrid]. <https://hdl.handle.net/10016/25108>
- Sánchez, Á., & Castromonte, P. (2016). *Desarrollo de una interfaz háptica con patrones de estímulos vibrotáctiles*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sandoval Rubio, T. J. (2020). *Implementación de chaleco inteligente para la prevención de accidentes viales de ciclistas* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49462>
- Souza, M. S., Giordano, C. J., & Migliorati, M. A. (2013). Hacia la tesis. En M. S. G. C. J. M. M. A. Souza (Ed.), *Hacia la tesis: itinerarios conceptuales y metodológicos para la*

investigación en comunicación (1.^a ed.). Instituto de Investigaciones en Comunicación (IICOM). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42082>

Ünal, Z. B., & Eren, E. R. (2018). The use of neoprene fabric evaluation in terms of comfort in child tracksuit production. *Industria Textila*, 69(5), 400-405. <https://doi.org/10.35530/IT.069.05.1470>

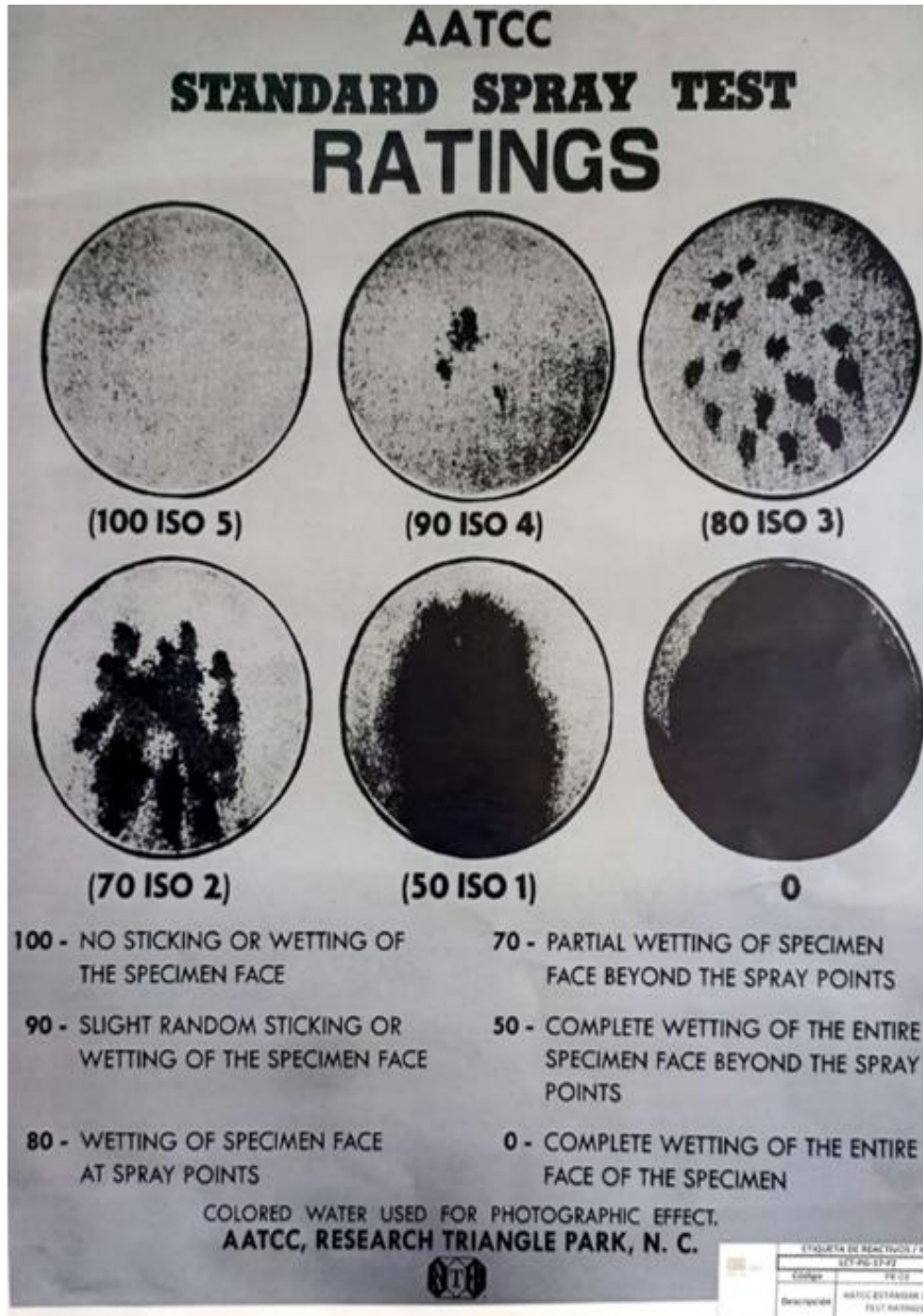
UTN. (2024). *Líneas de investigación*. <https://investigacion.utn.edu.ec/lineas-de-investigacion/>

Villareal, J. (2023). *Estudio de viabilidad y factibilidad para el desarrollo de una prenda que mejore la visibilidad de ciclistas con los automotores y peatones* [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/45240>

ANEXOS

Anexo 1

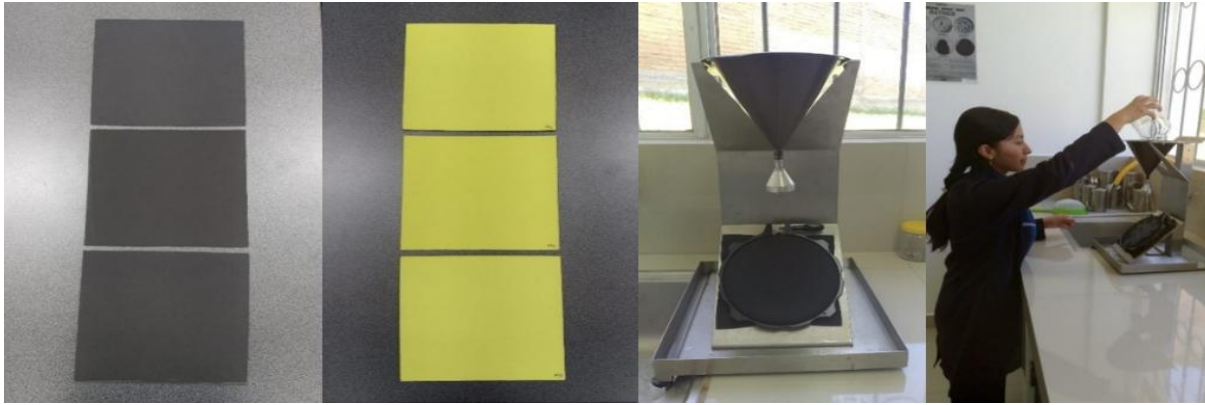
Tabla de calificaciones de la prueba de pulverización



Fuente: (AATCC, 2015)

Anexo 2

Prueba de repelencia al agua sobre el tejido neopreno



Anexo 3

Tendido, corte y confección del chaleco



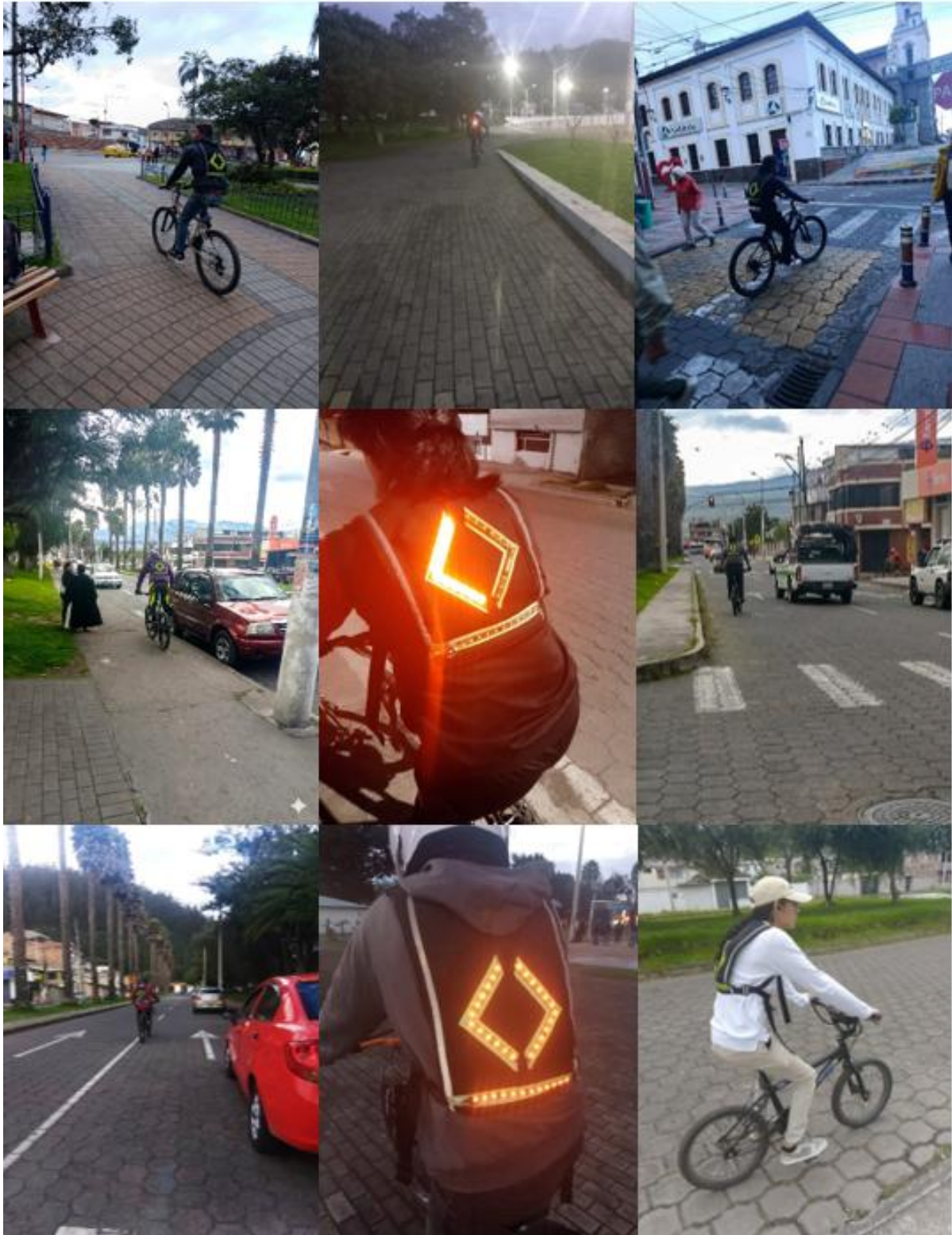
Anexo 4

Elaboración del manillar para bicicleta con integración electrónica



Anexo 5

Pruebas de campo



Anexo 6

Colocación del chaleco inteligente con vinculación del mando en el manillar



Anexo 7

Encuesta de conformidad

	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo (Neutral)	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
F1. El sistema cumplió su función de apoyo a la comunicación vial.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
F2. La notificación por vibración me ayudó a conocer el estado (activo/inactivo) de las direccionales.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
F11. Las luces y vibración respondieron totalmente a las pulsaciones realizadas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
F12 El sistema operó sin presentar fallos durante su tiempo de uso.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
R1. La respuesta inalámbrica es inmediata.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
R2. La vibración se percibe con claridad.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
U1. El confort del chaleco (peso, posición, ajuste y libertad de movimiento) es satisfactorio.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
U2. La ubicación del manillar y los botones en el manubrio fue adecuada y no estorbó.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
U3. El sistema es intuitivo y fácil de manejar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anexo 8

Código del manubrio (emisor)

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>
const int PIN_DER = 13;
const int PIN_PARE = 26;
const int PIN_IZQ = 32;
// Dirección MAC del Receptor (Chaleco)
uint8_t broadcastAddress[] = { 0x80, 0xF3, 0xDA, 0x5D, 0xE0, 0xBC };
typedef struct struct_message {
    int comando; // 1: Derecha, 2: Pare, 3: Izquierda
} struct_message;
struct_message myData;
esp_now_peer_info_t peerInfo;
void OnDataSent(const wifi_tx_info_t *tx_info, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print("\r\nEstado del último envío: ");
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "ENTREGADO" : "ERROR");
}
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(PIN_DER, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_PARE, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_IZQ, INPUT_PULLUP);
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    if (esp_now_init() != ESP_OK) {
        Serial.println("Error inicializando ESP-NOW"); return;
    }
    memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
    peerInfo.channel = 0;
    peerInfo.encrypt = false;
    if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
        Serial.println("Error al agregar par"); return;
    }
}
void loop() {
    if (digitalRead(PIN_DER) == LOW) {
        myData.comando = 1; enviar();
    } else if (digitalRead(PIN_PARE) == LOW) {
        myData.comando = 2; enviar();
    } else if (digitalRead(PIN_IZQ) == LOW) {
        myData.comando = 3; enviar();
    }
}
void enviar() {
    esp_err_t result = esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *)&myData,
    sizeof(myData));
    Serial.print("Intentando enviar comando: ");
    Serial.println(myData.comando);
    delay(350);
}
```

Anexo 9

Código del chaleco (receptor)

```
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

// Definición de Pines de LEDs
const int LED_DER = 13;
const int LED_PARE = 26;
const int LED_IZQ = 32;

// Variables de control de tiempo
unsigned long tiempoInicio = 0;
unsigned long ultimoParpadeo = 0;
const long duracionTotal = 7000;
const long intervaloParpadeo = 500;
int comandoActivo = 0;
bool estadoLed = false;

// Estructura para recibir datos
typedef struct struct_message {
    int comando;
} struct_message;
struct_message myData;

/** FUNCIÓN DE RECEPCIÓN */
void OnDataRecv(const esp_now_recv_info *info, const uint8_t *incomingData, int len) {
    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData));
    comandoActivo = myData.comando;
    tiempoInicio = millis();
    Serial.print("Comando recibido: ");
    Serial.println(comandoActivo);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(LED_DER, OUTPUT);
    pinMode(LED_PARE, OUTPUT);
    pinMode(LED_IZQ, OUTPUT);
    apagarTodo();

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    if (esp_now_init() != ESP_OK) {
        Serial.println("Error inicializando ESP-NOW");
        return;
    }
    esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);
}

void loop() {
    if (comandoActivo != 0) {
```

```

unsigned long tiempoActual = millis();
// Si pasan los 7 segundos, apagar
if (tiempoActual - tiempoInicio >= duracionTotal) {
    apagarTodo();
    comandoActivo = 0;
} else {
    if (tiempoActual - ultimoParpadeo >= intervaloParpadeo) {
        ultimoParpadeo = tiempoActual;
        estadoLed = !estadoLed;
        actualizarLeds();
    }
}
}
}
}
}
void actualizarLeds() {
    apagarTodo(); // Limpiar antes de mostrar el siguiente estado

    if (estadoLed) {
        switch (comandoActivo) {
            case 1: // Derecha
                digitalWrite(LED_DER, HIGH); break;
            case 2: // Pare (Prende todos)
                digitalWrite(LED_DER, HIGH);
                digitalWrite(LED_PARE, HIGH);
                digitalWrite(LED_IZQ, HIGH);
                break;
            case 3: // Izquierda
                digitalWrite(LED_IZQ, HIGH); break;
        }
    }
}
void apagarTodo() {
    digitalWrite(LED_DER, LOW);
    digitalWrite(LED_PARE, LOW);
    digitalWrite(LED_IZQ, LOW);
}
}

```