



**Bastón Canadiense Personalizado mediante Tecnología Integrada y
Plástico Reciclado para Movilidad Asistida**

Elaborado por:

Daniel Ricardo Lache González
William Styven Díaz Ortiz
Danna Valentina Miranda Amador

Docente:

Diana Grajales Medina

Universidad EAN
Facultad De Ingeniería
Escuela De Formación En Investigación
Proyecto de Integración
Bogotá, 2025

Tabla de Contenido

1. Resumen Ejecutivo.....	8
2. Metodología	9
3. Introducción	10
4. Objetivos	12
4.1 Objetivo General	12
4.2 Objetivos Específicos.....	12
5. Problema de Investigación	13
6. Justificación.....	14
7. Análisis de Requerimientos.....	16
7.1 Intención del Producto	16
7.2 Verificación de Parámetros de Diseño	16
7.3 Estimación de Especificaciones del Producto	17
7.4 Alcance de la Solución de Ingeniería.....	17
7.5 Prevención de Cambios en Etapas Tardías.....	18
7.6 Priorización de Requerimientos	18
8. Marco Teórico	19
8.1 Sostenibilidad ambiental	19
8.2 Reciclaje y Alternativas al Polietileno de Alta Densidad (HDPE).....	20
8.3 Dispositivos de asistencia a la movilidad.....	22
8.4 Desafíos actuales en las tecnologías de asistencia	27
9. Información dentro del Marco Teórico	28
9.1 Ergonomía en el diseño	28
9.2 Calidad del diseño	29
9.3 Marco Legal y normativo de la discapacidad en Colombia	30
9.4 Marco Legal Normativos de plásticos en Colombia	33
10. Análisis de Restricciones	35
10.1 Restricciones Ambientales	35
1.1.1 Uso de plástico reciclado (HDPE).....	35
1.1.2 Impacto ambiental del proceso de fabricación:	35
1.1.3 Disposición final del producto	36
10.2 Restricciones Económicas.....	36

1.1.4	Costos de fabricación	36
1.1.5	Viabilidad comercial	36
1.1.6	Subsidios y apoyos gubernamentales	37
10.3	Restricciones Legales	37
1.1.7	Normativas de dispositivos médicos y de asistencia.....	37
1.1.8	Regulaciones sobre plásticos reciclados.....	37
10.4	Restricciones de Salud y Seguridad	38
1.1.9	Seguridad del usuario:	38
1.1.10	Salud de los trabajadores.....	38
1.1.11	Compatibilidad del material	39
10.5	Restricciones Socioculturales.....	39
1.1.12	Aceptación del producto:	39
1.1.13	Cultura de reciclaje:	39
1.1.14	Accesibilidad y equidad	40
10.6	Restricciones Técnicas	40
1.1.15	Disponibilidad de tecnología:.....	40
1.1.16	Capacidad de fabricación	40
11.	Metodología para la selección y desarrollo de la solución.....	41
11.1	Tipo de investigación	41
11.2	Enfoque	41
11.3	Muestra.....	41
11.4	Instrumento de medición.....	42
11.5	Investigación y diagnóstico inicial	43
11.5.1	Revisión bibliográfica sobre el uso de plástico reciclado (HDPE) en la fabricación de dispositivos de asistencia.	43
11.6	Diseño y desarrollo del prototipo	51
11.6.1	Diseño del bastón canadiense utilizando software de modelado 3D (SolidWorks)..	51
11.7	Selección de componentes electrónicos (sensores de inclinación, luces LED, entre otros) y su integración en el diseño.	60
11.8	Fabricación del prototipo utilizando plástico reciclado de alta densidad (HDPE).....	60

Cambio de estrategia de Fabricación:	60
Solución Implementada: Mecanizado en Barra de Nylon:	61
11.8.1 Piezas Mecanizadas:.....	61
11.8.2 Pruebas Realizadas en el Prototipo Mecanizado	62
11.9 Fabricación del Prototipo: Proceso de Impresión 3D con HDPE Reciclado.....	62
11.9.1 Piezas Fabricadas mediante Impresión 3D.....	62
11.10 Diseño y desarrollo electrónico.....	65
11.10.1 Implementación del Circuito en Proteus	65
Programación del PIC16F887 en MikroC para el Bastón Inteligente.....	66
11.11 Fabricación del Circuito Impreso (PCB).....	66
11.11.1 Proceso de Fabricación y Fallas Detectadas.....	66
11.12 Prototipo Terminado	68
11.13 Producción a Escala del Bastón Canadiense Aplicando Ingeniería Industrial	68
11.4 Diseño Final de Producción a Escala del Bastón Canadiense en Flexim.....	69
12. Análisis de Costos	70
12.1 Costos Correspondientes a Modalidad Inicial.....	70
12.2 Costos Correspondientes a Modalidad Producción de 80 Unidades	70
13. Obtención de datos	45
13.1 Aplicación de la encuesta:.....	45
12.1 Registro de las respuestas:.....	45
14. Análisis de resultados y mejora continua.....	45
14.1 Lecciones Aprendidas y Mejoras Futuras	46
14.2 Análisis de Resultados Obtención de Datos.....	47
15. Conclusiones	73
16. Referencias	77

Índice de Tablas

Tabla 1 Propiedades del Nylon PA6 en el prototipo	61
Tabla 2 Especificaciones Técnicas de la Impresión	63

Índice de Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1. Arcobelli, VA et. el(2023)Descripción general del sistema: mCrutches y aplicación móvil.[Ilustración] recuperado de https://doi.org/10.3390/s23084151	23
Ilustración 2 Arcobelli, VA et. el(2023)2Conjunto de mCrutch: (a) prototipo final de mCrutch; (b) ubicación de la batería; (c) estructura mecánica modificada de la punta que incorpora la celda de carga miniaturizada; (d) estuche protector de plástico que contla electrónica; y (e) [Ilustración] recuperado https://doi.org/10.3390/s23084151	23
Ilustración 3. Arcobelli, VA et. el(2023)Diagrama de conexiones electrónicas.[Ilustración] recuperado de https://doi.org/10.3390/s23084151	24
Ilustración 4. Arcobelli, VA et. el(2023)Rendimiento de calibración de la punta inteligente y distribución de la diferencia entre FP y mCrutch.[Ilustración] recuperado de https://doi.org/10.3390/s23084151	24
Ilustración 5. (Geoff. V Merret.C,et al., 2009)(a) Las fuerzas, ángulos y distancias detectadas por la muleta instrumentada; (b) Usos concebidos de la muleta instrumentada (actualmente solo [c] está implementada).[ilustración]recuperado de https://doi.org/10.1016/j.p	25
Ilustración 6. (G.V. Merrett et al./ Procedia Chemistry 1 (2009) (a) Las ubicaciones de los sensores dentro de i) el mango y ii) el tubo principal de la muleta; (b) la muleta instrumentada mostrando las ubicaciones de la fuente de energía. [ilustración]recuperado de https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.178	26
Ilustración 7. (G.V. Merrett et al./ Procedia Chemistry 1 (2009)(a) La interfaz de LabVIEW muestra los datos sin procesar de los sensores obtenidos de las muletas y los niveles de batería; (b) El porcentaje del peso corporal del sujeto que se aplicó sobre su pierna "afectada" dura. [ilustración]recuperado de https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.178	26

Ilustración 8. Rivas, R. R. (2013). Rivas, R. R. (2013). Diseño del producto y calidad del proceso.[Ilustración] Editorial Nobuko. Recuperado de https://elibronet.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/77259?page=47	30
Ilustración 9. Diseño 3D del prototipo apoyo del antebrazo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	51
Ilustración 10. Diseño 3D del prototipo miple de sujeción antebrazo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia 2025.	52
Ilustración 11. Diseño 3D del prototipo tornillo pasante de sujeción y estabilización del miple y del apoyo del antebrazo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	52
Ilustración 12. Diseño 3D del prototipo del primer tubo de estabilización de peso y sujetador del miple del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	53
Ilustración 13. Diseño 3D del prototipo de la segunda manija y sistema de soporte de estabilización de peso y manejo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025)....	54
Ilustración 14. Diseño 3D del prototipo del segundo bastón de soporte de estabilización de peso, transmisión de carga y conectividad modular del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	55
Ilustración 15. Diseño 3D del prototipo del tercer bastón de soporte de estabilización de peso, graduación de altura con rosca del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	56
Ilustración 16. Diseño 3D del prototipo de la goma como soporte final del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	57
Ilustración 17. Diseño 3D del prototipo bastón canadiense con sus medidas y el isométrico. Nota Elaboración propia (2025).	58
Ilustración 18. Diagrama de grado, diseño 3D del prototipo bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	59
Ilustración 19. Diagrama del módulo ADXL345 con conexiones GPIO. Nota. Adaptado de Módulo Sensor Acelerómetro ADXL345, por Vistrónica, 2023. Fuente: https://www.vistronica.com/sensores/imu/modulo-sensor-acelerometro-adxl345-detail.html Fuente: https://www.vistronica.com/sensores/imu/modulo-sensor-acelerometro-adxl345-detail.html	60

Ilustración 20. Fotografía frontal del microcontrolador PIC16F887-I/P y Batería 3.7V 18650 2200mAh Recargable Litio Pila Pin Li-ion. Nota. Fuente: Sigma Electrónica (2023). https://www.sigmaelectronica.net/producto/pic16f887-ip/	60
Ilustración 21. Diseño del mecanizado del prototipo bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	62
Ilustración 22. Piezas de impresión 3D, soporte de antebrazo y miple de sujeción del prototipo bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	64
Ilustración 23. Diseño del circuito para el prototipo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).	65
Ilustración 24. Programación núcleo del procesamiento del PIC16F887 Configuración Inicial (Oscilador y Puertos), Comunicación I ² C con ADXL345, Configuración del Acelerómetro, Lectura de Ejes (X, Y, Z), Sistema de Alerta por Inclinación, Rutina Principal. Nota Elaboración propia (2025).	66
Ilustración 25. Diseño del circuito para impresión en PCB. Nota Elaboración propia (2025). 67	
Ilustración 26. Diseño bastón canadiense prototipo terminado. Nota Elaboración propia (2025).....	68
Ilustración 27. Diagrama de Flujo Producción a Escala. Nota Elaboración propia (2025).	68
Ilustración 28. Diseño a Escala de Producción en Flexim. Nota Elaboración propia (2025). .	69
Ilustración 29. Costos de Producción de Producto o Servicio. Nota Elaboración propia (2025).	70
Ilustración 30. Costos de Producción de Producto o Servicio para 80 Unidades. Nota Elaboración propia (2025).	70
Ilustración 31. Gráfico 1 de Torta respuesta de Encuesta.	47
Ilustración 32. Gráfico 2 de Torta respuesta de Encuesta.	48
Ilustración 33. Gráfico 3 de barras respuesta de Encuesta.	50

1 Resumen Ejecutivo

Este proyecto tiene como finalidad desarrollar bastones canadienses personalizados para personas con discapacidad física y movilidad reducida, utilizando plástico reciclado de alta densidad (HDPE) como material principal. El proyecto combina sostenibilidad ambiental con innovación tecnológica, ya que los bastones no solo serán fabricados a partir de material reciclado, sino que también integrarán componentes electrónicos adaptados a las necesidades específicas de cada usuario. Entre estos componentes se incluyen sensores de inclinación para prevenir caídas, luces LED para mejorar la visibilidad nocturna.

El proyecto aborda dos problemáticas principales:

1. La **contaminación por plásticos**, al reutilizar HDPE reciclado en la fabricación de dispositivos de asistencia.
2. La **falta de personalización** en los dispositivos de movilidad, que limita la autonomía y calidad de vida de las personas con discapacidad.

Mediante un enfoque multidisciplinario que incluye diseño industrial, ingeniería electrónica y evaluación de impacto social, se busca crear un producto ecológico, funcional y accesible.

Los resultados esperados incluyen la reducción del impacto ambiental del plástico, la mejora de la movilidad y seguridad de los usuarios, y la promoción de soluciones tecnológicas inclusivas. Este proyecto no solo aporta innovación en el campo de la asistencia tecnológica, sino que también contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en materia de salud y bienestar, industria, innovación e infraestructura, y producción y consumo responsables.

2 Metodología

Este proyecto se desarrollará bajo metodología práctica y experimental, centrado en la creación de un prototipo funcional de bastón canadiense personalizado, combinando aspectos de diseño industrial, ingeniería electrónica y evaluación de impacto social. Se utilizará una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) para garantizar que el prototipo cumpla con los requisitos técnicos, ambientales y sociales planteados.

3 Introducción

En las últimas décadas, el manejo inadecuado de los residuos plásticos se ha convertido en uno de los mayores desafíos ambientales a nivel global. Cada año se desechan toneladas de plástico, generando un grave problema ambiental. En Colombia, el consumo de plástico alcanza la alarmante cifra de 1.250.000 toneladas por año, y según Greenpeace (s.f.), el 74% de los envases de plástico utilizados en el país terminan en rellenos sanitarios, contribuyendo a la creciente problemática ambiental. Paralelamente, las personas con discapacidad física y movilidad reducida enfrentan barreras significativas para acceder a dispositivos de asistencia que se adapten a sus necesidades individuales, lo que limita su autonomía y calidad de vida.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras que aborden ambos problemas de manera integral. Este proyecto propone la creación de bastones canadienses personalizados, fabricados a partir de plástico reciclado de alta densidad (HDPE), un material resistente y sostenible. Además, estos bastones integrarán tecnología electrónica avanzada, como sensores de inclinación para prevenir caídas, luces LED para mejorar la visibilidad en condiciones de poca luz.

La personalización de los bastones es un aspecto clave del proyecto, ya que cada usuario tiene necesidades específicas que deben ser atendidas para garantizar su seguridad y comodidad. Por ejemplo, una persona con problemas de equilibrio podría beneficiarse de un sensor de inclinación, mientras que otra que camina frecuentemente de noche podría necesitar luces LED integradas. Este enfoque no solo mejora la funcionalidad del dispositivo, sino que también promueve la inclusión y la independencia de las personas con discapacidad.

El proyecto se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en los objetivos de salud y bienestar (ODS 3), industria, innovación e infraestructura (ODS 9) y producción y consumo responsables (ODS 12). Al utilizar plástico reciclado y promover soluciones tecnológicas accesibles, se contribuye a la construcción de un futuro más sostenible e inclusivo.

Finalmente, este proyecto busca combinar sostenibilidad ambiental con innovación tecnológica para crear dispositivos de movilidad que no solo sean ecológicos, sino que también mejoren la calidad de vida de las personas con discapacidad. A través de un enfoque multidisciplinario, se espera demostrar que es posible transformar un problema ambiental en una oportunidad para generar impacto social positivo.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Elaborar un prototipo de bastón canadiense personalizado a partir de plástico reciclado de alta densidad (HDPE) diseñado para satisfacer necesidades de trasladarse de personas con discapacidad o movilidad reducida, incorporando tecnología electrónica para mejorar su calidad de vida.

4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un prototipo funcional de bastón canadiense que integre tecnología electrónica y sea fabricado con plástico reciclado de alta densidad (HDPE).
- Integrar tecnología electrónica en el prototipo del bastón, incluyendo sensores de inclinación y luces LED, para mejorar la estabilidad del usuario.
- Evaluar el impacto en la calidad de vida de los usuarios al utilizar el bastón canadiense a partir de retroalimentación de datos.

5 Problema de Investigación

En la actualidad, el manejo ineficiente del plástico reciclado y la falta de dispositivos de movilidad personalizados para personas con discapacidad física y movilidad reducida representan dos desafíos significativos: uno ambiental y otro social. Este proyecto busca abordar ambos problemas mediante la fabricación de bastones canadienses a partir de plástico reciclado de alta densidad (HDPE), integrando componentes electrónicos como sensores de inclinación y luces LED para adaptarse a las necesidades específicas de cada usuario.

La investigación se centrará en responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede utilizar plástico reciclado de alta densidad (HDPE) para fabricar bastones canadienses personalizados que integren tecnología electrónica y mejoren la movilidad y calidad de vida de personas con discapacidad física y movilidad reducida?

6 Justificación

El presente proyecto de grado tiene como objetivo el desarrollo de un prototipo de bastón canadiense personalizado, elaborado con plástico reciclado de alta densidad (HDPE) e incluyendo tecnología electrónica, con la finalidad de mejorar la movilidad y calidad de vida de las personas con discapacidad o movilidad reducida. Este proyecto se justifica en la necesidad de ofrecer soluciones innovadoras y sostenibles que no solo beneficien a los usuarios, sino que también fomente la reutilización de materiales plásticos en la fabricación de dispositivos de asistencia.

Hablando en términos sociales, el impacto de esta iniciativa es significativo en términos de inclusión y accesibilidad. Las personas con movilidad reducida enfrentan numerosas barreras en su día a día. Al integrar sensores de inclinación y luces LED en el bastón, se busca proporcionar mayor estabilidad y seguridad, permitiendo a los usuarios desplazarse con confianza y reduciendo el riesgo de caídas. Sumando a ello, la recopilación y análisis de datos sobre la experiencia del usuario permitirá realizar mejoras continuas en el diseño y funcionalidad del dispositivo, promoviendo así la inclusión y accesibilidad.

Abordando el ámbito ambiental, la utilización de plástico reciclado en la fabricación del bastón contribuye a la reducción de residuos plásticos, impulsando la economía circular y disminuyendo el impacto ambiental que generan estos desechos; respaldando esta utilización en lo mencionado por Infante, 2024, “el ministerio de ambiente emitió una nueva reglamentación para la eliminación gradual de los plásticos de un solo uso que busca promover la economía circular con la participación de todos los actores de la cadena del reciclaje” Así, el proyecto no solo beneficia la movilidad asistida, sino que también alinea sus esfuerzos con prácticas de producción y consumo responsables.

Desde el punto de vista tecnológico e industrial, el desarrollo de este prototipo permite aplicar principios de diseño ergonómico y tecnología avanzada a los dispositivos de asistencia. La incorporación de componentes electrónicos optimiza el rendimiento del

bastón, convirtiéndolo en una solución más eficiente y moderna en comparación con los modelos tradicionales. Además, este proyecto sienta las bases a futuras investigaciones sobre la mejora de dispositivos de apoyo para personas con movilidad reducida.

Por último, desde el punto de vista económico, la producción de un bastón canadiense a partir de materiales reciclados puede representar una alternativa más asequible para los usuarios, en comparación con dispositivos importados o fabricados con materiales convencionales. Esto podría facilitar el acceso a herramientas de asistencia de calidad para un mayor número de personas en situaciones de discapacidad o movilidad reducida y según lo mencionado por el Ministerio de salud y prosperidad social, 2024 “Desde la implementación del RLCPD hasta el primer semestre de 2024, se ha logrado certificar a 350.732 personas con discapacidad”. Por las razones previamente mencionadas, este proyecto no solo abordará una necesidad ambiental y tecnológica, si no también abordará la necesidad latente de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad.

7 Análisis de Requerimientos

7.1 Intención del Producto

El bastón canadiense personalizado tiene como propósito fundamental:

- Brindar una solución de movilidad asistida para personas con discapacidad física o movilidad reducida.
- Integrar tecnología electrónica incluyendo sensores de inclinación y luces LED para mejorar la seguridad y funcionalidad del usuario.
- Utilizar plástico reciclado de alta densidad (HDPE) como material principal, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.
- Ofrecer un diseño personalizado que se adapte a las necesidades específicas del usuario.

7.2 Verificación de Parámetros de Diseño

1. Ergonomía:

- a. El bastón debe adaptarse a la altura, peso y necesidades físicas del usuario.
- b. El diseño debe ser cómodo y fácil de usar, incluso durante períodos prolongados.

2. Resistencia y Durabilidad:

- a. El material HDPE debe ser lo suficientemente resistente para soportar el peso del usuario y las condiciones de uso diario.
- b. El prototipo debe ser probado para garantizar su durabilidad a largo plazo.

3. Funcionalidad de los Componentes Electrónicos:

- a. Los sensores de inclinación deben detectar cambios bruscos en el equilibrio y alertar al usuario en caso de riesgo de caída.
- b. Las luces LED deben proporcionar una iluminación adecuada para mejorar la visibilidad nocturna.

4. Sostenibilidad:

- a. El uso de plástico reciclado debe cumplir con estándares de calidad y seguridad.
- b. El proceso de fabricación debe minimizar el impacto ambiental.

7.3 Estimación de Especificaciones del Producto

A continuación, se detallan las características técnicas y especificaciones estimadas para el bastón canadiense:

1. Dimensiones y Peso:

- a. Altura ajustable: entre 94.5 cm y 1.17 cm.
- b. Peso máximo: 1.5 kg (incluyendo componentes electrónicos).

2. Materiales:

- a. Cuerpo principal: plástico reciclado de alta densidad (HDPE).
- b. Empuñadura: material antideslizante y ergonómico.

3. Componentes Electrónicos:

- a. Sensores de inclinación: rango de detección de ± 3 grados, tres ejes (X, Y, Z), rango de voltaje 1.8 V a 3.6V, sensibilidad 300 mV/g para cada eje, rango de temperatura de operación de -40 °C a $+85$ °C, ruido de salida bajo, con una cifra típica de $150 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$.
- b. Luces LED: intensidad ajustable y autonomía de 8 horas.

4. Requerimientos de Energía:

- a. Batería recargable con autonomía mínima de 24 horas.
- b. Tiempo de carga: máximo 4 horas.

5. Requerimientos de Seguridad:

- a. Resistencia a impactos y caídas.
- b. Certificación de materiales no tóxicos y biocompatibles.

7.4 Alcance de la Solución de Ingeniería

El alcance del proyecto incluye:

- Diseño y fabricación de un prototipo funcional.
- Integración de componentes electrónicos básicos (sensores de inclinación y luces LED).
- Pruebas de usabilidad y funcionalidad con el usuario principal (en este caso, tú mismo).

Alcance futuro de Ingeniería Industrial:

- Producción en masa o comercialización del producto.
- Integración de componentes electrónicos avanzados (por ejemplo, conectividad Bluetooth o aplicaciones móviles).

7.5 Prevención de Cambios en Etapas Tardías

Para evitar cambios en etapas avanzadas del proyecto, se implementarán las siguientes medidas:

- Definición clara de los requerimientos desde la fase inicial.
- Revisión constante del diseño con base en las especificaciones establecidas.
- Pruebas preliminares de los componentes electrónicos y el material HDPE antes de la fabricación del prototipo.

7.6 Priorización de Requerimientos

Dado que el tiempo es un factor limitante, se priorizarán los siguientes requerimientos:

1. Funcionalidad básica del bastón (soporte de peso, ergonomía y durabilidad).
2. Integración de los componentes electrónicos esenciales (sensores de inclinación y luces LED).
3. Uso de plástico reciclado (HDPE) como material principal.

Los requerimientos secundarios, como la optimización del sistema GPS o la estética del diseño, podrán ajustarse en una fase posterior si el tiempo lo permite.

8 Marco Teórico

El desarrollo de un bastón canadiense personalizada con tecnología integrada y plástico reciclado tiene su origen en dos importantes desafíos globales: la sostenibilidad ambiental y la necesidad tecnológica; por lo anterior relacionamos antecedentes en tres principales aspectos: Sostenibilidad ambiental, Evolución de los dispositivos de asistencia a la movilidad, Desafíos actuales en las tecnologías de asistencia.

8.1 Sostenibilidad ambiental

Los plásticos han sido clave en los desarrollos tecnológicos gracias a sus características como: bajo peso, resistencia y durabilidad, reemplazando materiales como metales, vidrio y cartón para ofrecer soluciones eficientes. Su presencia en el día a día ha impulsado el desarrollo de numerosos polímeros para diversas aplicaciones, aunque también plantea desafíos en su uso y disposición adecuada.

Como menciona (Campuzano Vallejo et al., 2022, p. 5) “Los materiales plásticos han sido fundamentales para apoyar y promover los logros tecnológicos de la humanidad”, lo vemos en la industria médica, donde los plásticos han sido clave en la producción de dispositivos como prótesis, jeringas y empaques esterilizados, mejorando la seguridad y accesibilidad de los tratamientos. En el sector electrónico, han permitido el desarrollo de equipos más ligeros y funcionales, favoreciendo la miniaturización y eficiencia energética. Agregando, que en el ámbito del transporte, han contribuido a la fabricación de vehículos más livianos y aerodinámicos, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. No obstante, su masificación ha generado preocupaciones ambientales, lo que ha impulsado la búsqueda de soluciones sostenibles, como el reciclaje y el desarrollo de bioplásticos, para mitigar su impacto en el planeta.

Por lo mencionado con anterioridad, una estrategia clave es la reutilización y el reciclaje de plásticos de alta densidad para la fabricación de productos de asistencia, en el caso de nuestro proyecto, los bastones para personas con movilidad reducida. Este enfoque no solo se contribuye a la economía circular, evitando que estos plásticos se conviertan en

residuos contaminantes, sino que también promueve la accesibilidad e inclusión social. Al incorporar materiales reciclados en la fabricación de los bastones, se reduce la demanda de nuevas materias primas, se disminuye la huella de carbono y se generan soluciones económicas para quienes dependen de estos dispositivos en su vida diaria. De este modo, se conjugan los beneficios ambientales con un impacto social favorable, lo que otorga mayor autonomía y mejora la calidad de vida de numerosas personas.

La iniciativa de este proyecto contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente al ODS 12 (Producción y Consumo Responsable), al fomentar el uso eficiente de los recursos y la reducción de desechos, y al ODS 10 (Reducción de las Desigualdades), al facilitar el acceso a dispositivos de asistencia asequibles y sostenibles. Además, al disminuir la cantidad de plástico presente en los vertederos y océanos, se contribuye al ODS 13 (Acción por el Clima), lo que ayuda a mitigar el impacto ambiental asociado con el plástico. En definitiva, replantear el uso de plásticos de alta densidad desde una perspectiva de economía circular no solo constituye una solución viable para reducir la contaminación, sino que también representa una oportunidad para mejorar la calidad de vida de numerosas personas que dependen de tecnologías asistidas accesibles y sostenibles.

8.2 Reciclaje y Alternativas al Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad (HDPE) es un termoplástico ampliamente utilizado debido a su resistencia, versatilidad y bajo costo de producción. Se encuentra en diversos sectores, como la industria del embalaje, la construcción y la manufactura. Sin embargo, su producción y desecho han generado preocupaciones ambientales, lo que ha impulsado la búsqueda de estrategias para mejorar su reciclaje y desarrollar materiales alternativos con propiedades similares, pero con una degradabilidad optimizada. Este ensayo examina los principales métodos de reciclaje del HDPE, la investigación en materiales alternativos con estructura similar y las perspectivas futuras para una industria plástica más sostenible (Rojas, 2023). Estrategias de reciclaje del HDPE El reciclaje de plásticos es una solución clave para reducir su impacto ambiental. Según las normas ASTM D7209-06 e ISO 15,270, el reciclaje del HDPE se clasifica en cuatro tipos:

1. Reciclaje primario (circuito cerrado): Permite la reutilización del material sin alteraciones químicas significativas, siempre que haya una separación eficiente de residuos.

2. Reciclaje mecánico (secundario): Consiste en triturar y fundir el plástico para fabricar nuevos productos, aunque su calidad disminuye tras cada ciclo de reciclaje.

3. Reciclaje químico (terciario): Descompone el HDPE en sus monómeros o en productos químicos reutilizables, permitiendo regenerar material con calidad similar al original.

4. Recuperación energética (cuaternaria): Utiliza la combustión del HDPE para generar energía, aunque este proceso conlleva emisiones contaminantes.

A pesar de estas opciones, menos del 10 % del plástico producido globalmente se recicla eficazmente, lo que subraya la necesidad de soluciones más innovadoras para la gestión de residuos plásticos (Rojas, 2023).

Ante las limitaciones del reciclaje convencional, los investigadores han trabajado en el diseño de polímeros con propiedades similares al HDPE, pero con una estructura química que facilite su degradación. La incorporación de grupos funcionales como ésteres, acetal, amidas y tioésteres en la estructura del polímero permite su fragmentación controlada mediante solvolisis y otros procesos químicos.

Una de las estrategias más prometedoras es la utilización de aceites vegetales como materia prima para producir plásticos biodegradables. Estos aceites contienen triglicéridos, compuestos por glicerol y ácidos grasos como el linoleico, oleico y ricinoleico, que pueden modificarse químicamente para generar polímeros con alto rendimiento. Esta alternativa reduce la dependencia de los combustibles fósiles y facilita la degradabilidad del material, alineándose con los principios de la economía circular.

Si bien el desarrollo de materiales alternativos representa un avance significativo, su producción a escala industrial sigue siendo costosa y requiere optimización en los procesos

de síntesis y reciclaje. Para lograr una transición efectiva hacia una industria plástica sostenible, es fundamental la colaboración entre el sector académico, la industria y los gobiernos. La implementación de incentivos gubernamentales y regulaciones más estrictas podría fomentar la investigación y el desarrollo de materiales biodegradables.

A pesar de estos desafíos, el HDPE sigue siendo un material indispensable en diversas aplicaciones industriales. Sin embargo, su futuro debe centrarse en la optimización de estrategias de reciclaje y en la incorporación de tecnologías innovadoras que permitan su progresiva sustitución por polímeros más sostenibles.

El impacto ambiental del HDPE ha impulsado el desarrollo de estrategias de reciclaje y la investigación de materiales alternativos. Si bien el reciclaje mecánico y químico siguen evolucionando, la incorporación de grupos degradables en polímeros "HDPE-like" y el uso de materias primas renovables representan un camino prometedor hacia una industria plástica más sostenible. La colaboración entre el sector científico, la industria y las autoridades será clave para superar los desafíos y garantizar una transición efectiva hacia materiales plásticos más responsables con el medio ambiente (Rojas, 2023).

8.3 Dispositivos de asistencia a la movilidad

(Arcobelli, Valerio, Zauli et al., 2023)” mCrutch: un nuevo enfoque de salud móvil que apoya la continuidad de la atención” se estableció el objetivo principal monitorear la fuerza aplicada en la dirección del eje de la muleta por medio de una resistencia sensible a la fuerza FlexiForce montada dentro de la muleta y medir la inclinación de la muleta utilizando un acelerómetro triaxial; y determinar la fuerza de agarre aplicada al mango utilizando un potenciómetro de membrana.

Se utilizó la metodología experimental donde se hizo uso de un dispositivo Android para dedicada, mCrutch, procesó, visualizó y almaceno los datos recopilados por las muletas instrumentadas en tiempo real como lo muestra la imagen (Ilustración 1). La técnica que se usó para la recolección de datos de tipo cuantitativo a través de los

dispositivos mencionados con anterioridad, las muletas contaban con ciertos componentes como se evidencia en (Ilustración 2) pero además se transmitían de forma inalámbrica a través de Bluetooth a una computadora; según la versión actualizada de Chamorro-Moriana et al. El dispositivo incorpora un microcontrolador que recopila datos de una celda de carga cilíndrica colocada en la punta, la mayor parte de los componentes electrónicos (Ilustración 3) se encontraba en el mango de la muleta. Los resultados preliminares arrojaron que el sistema mCrutch puede proporcionar mediciones precisas de los ángulos de cabeceo y balanceo y de la fuerza aplicada, ver (Ilustración 4).

En conclusión, el estudio permitió cumplir con el objetivo de presentar mCrutch, un dispositivo que se encuentra a bajo costo y que fue sumamente adecuado para escenarios de salud móvil y que requirieran continuidad en la atención.

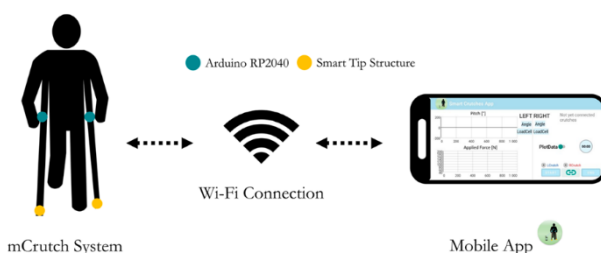


Ilustración 1. Arcobelli, VA et. al(2023)Descripción general del sistema: mCrutches y aplicación móvil.[Ilustración] recuperado de <https://doi.org/10.3390/s23084151>



Ilustración 2 Arcobelli, VA et. al(2023)2Conjunto de mCrutch: (a) prototipo final de mCrutch; (b) ubicación de la batería; (c) estructura mecánica modificada de la punta que incorpora la celda de carga miniaturizada; (d) estuche protector de plástico que contiene la electrónica; y (e) [Ilustración] recuperado <https://doi.org/10.3390/s23084151>

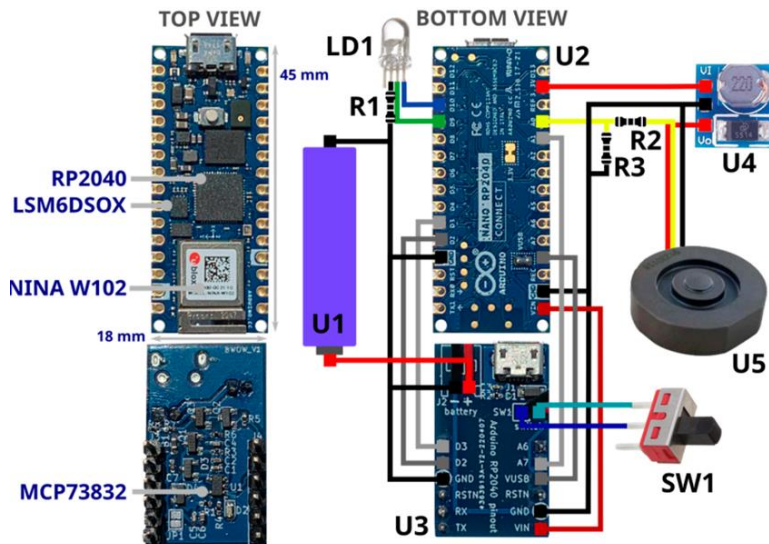


Ilustración 3. Arcobelli, VA et. el(2023)Diagrama de conexiones electrónicas.[Ilustración] recuperado de <https://doi.org/10.3390/s23084151>

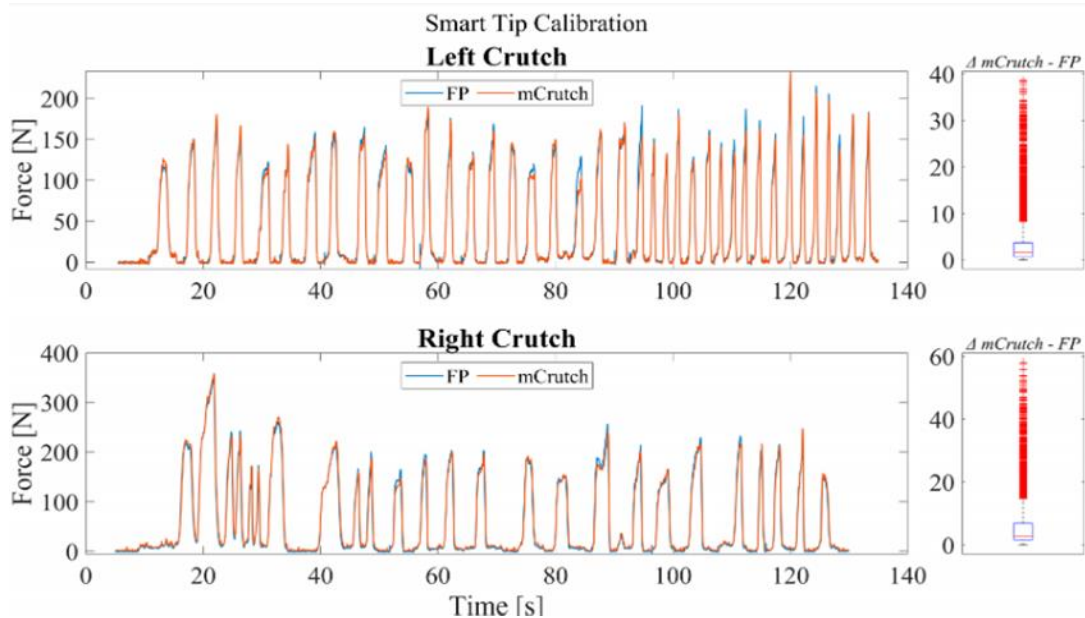


Ilustración 4. Arcobelli, VA et. el(2023)Rendimiento de calibración de la punta inteligente y distribución de la diferencia entre FP y mCrutch.[Ilustración] recuperado de <https://doi.org/10.3390/s23084151>

Según (Geoff. V Merret.C,et al., 2009) y su estudio “An instrumented cruth for monitoring patients’ weight distribution during orthopaedict rehabilitation”, se estableció que su objetivo principal fue analizar el impacto del uso de antebrazo en pacientes que fueron sometidos a cirugías en extremidades inferiores, dentro de los objetivos secundarios del sistema incluyen la medición de la inclinación de la muleta, véase (ilustración 5) lo que

buscó es comprender la aplicación incorrecta del peso podría llegar a influir en el proceso de la rehabilitación de los pacientes, lo que generaría duración mayor en la recuperación y llegar a complicaciones.

Este estudio adopto un enfoque basado en la observación clínica y análisis de dichas rehabilitaciones, durante el mismos se revisaron los métodos empleados en su momento. La recopilación de los datos fue netamente cualitativa y fue directa a los pacientes, dentro de los hallazgos de la investigación se demostró que muchos pacientes experimentan dificultades para estimar con precisión la cantidad del peso que aplican en su extremidad afectada y finalmente se manifestó la necesidad de crear herramientas precisas para guiar al paciente en su rehabilitación por lo que la presencia de tecnología de medición podría reducir el riesgo de complicaciones y extender el periodo de recuperación, de esta forma estar contribuyendo a las necesidades de cada paciente.

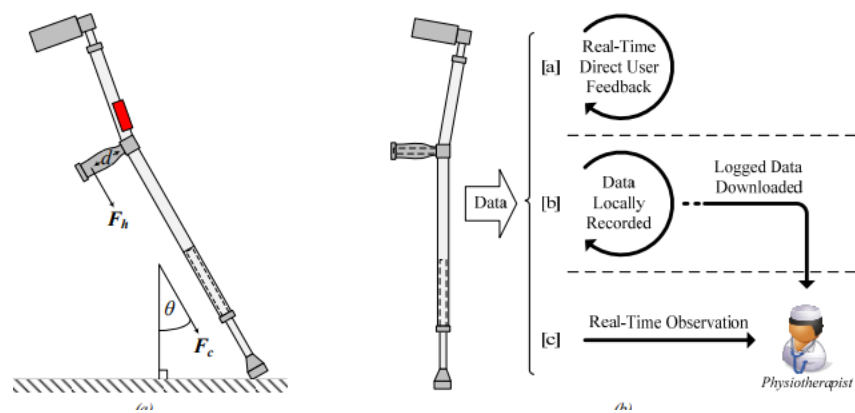


Ilustración 5. (Geoff. V Merret.C,et al., 2009)(a) Las fuerzas, ángulos y distancias detectadas por la muleta instrumentada; (b) Usos concebidos de la muleta instrumentada (actualmente solo [c] está implementada).[ilustración]recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.p>

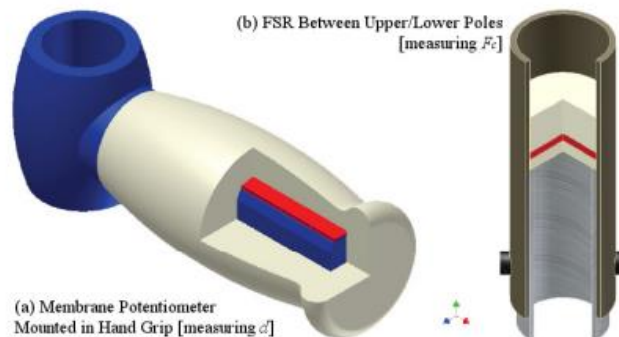


Ilustración 6. (G.V. Merrett et al./ *Procedia Chemistry* 1 (2009) (a) Las ubicaciones de los sensores dentro de i) el mango y ii) el tubo principal de la muleta; (b) la muleta instrumentada mostrando las ubicaciones de la fuente de energía. [ilustración]recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.178>

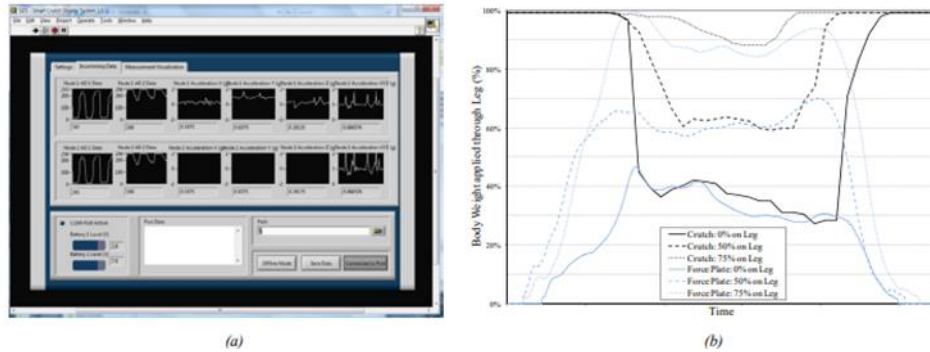


Ilustración 7. (G.V. Merrett et al./ *Procedia Chemistry* 1 (2009)(a) La interfaz de LabVIEW muestra los datos sin procesar de los sensores obtenidos de las muletas y los niveles de batería; (b) El porcentaje del peso corporal del sujeto que se aplicó sobre su pierna "afectada" dura. [ilustración]recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.178>

Segun (Rasouli y Reed,2020)” Asistencia para caminar con muletas: una revisión del estado del arte” Esta investigación tuvo como objetivo analizar el impacto del uso de muletas en la movilidad de las personas con discapacidad motriz, así como identificar las limitaciones y desafíos que surgen al utilizarlas. Se busca evaluar cómo las muletas influyen en la eficiencia de la marcha, el gasto energético, la biomecánica del paciente y el riesgo de lesiones en las extremidades superiores.

El estudio se fundamentó en una revisión sistemática de libros científicos y patentes relacionadas con el diseño y uso de muletas. Adicionalmente se incluyeron investigaciones que examinan los efectos de las muletas sobre los diversos parámetros de la marcha, los distintos patrones de uso y las modificaciones de diseño que pueden optimizar la eficiencia del desplazamiento. Asimismo, se consideraron estudios biomecánicos que evalúan la distribución de fuerzas en el paciente. Los datos se recopilaron a partir de artículos científicos, informes de investigación y patentes sobre muletas, analizando aspectos como la velocidad de marcha, el consumo energético, el efecto en la postura y la adaptabilidad de las muletas a diferentes perfiles de usuario.

También se revisaron datos a nivel demográficos sobre el uso de dispositivos de asistencia en diversas regiones del mundo para contextualizar la relevancia de este estudio. Los hallazgos indican que, aunque las muletas facilitan la movilidad y fomentan la independencia de las personas con discapacidad, también presentan desventajas significativas. Se observó que la marcha con muletas es considerablemente más lenta y menos eficiente en términos energéticos en comparación con la marcha normal. Agregando, que el uso prolongado de muletas puede generar tensiones en las extremidades superiores, causar daños o lesiones en la piel y aumentar la carga sobre las articulaciones.

En conclusión, la investigación recalca la necesidad de desarrollar muletas con diseños innovadores que optimicen la eficiencia de la marcha y minimicen el impacto negativo en los usuarios. Es fundamental que estudios futuros incorporen una evaluación integral del desempeño de las muletas, considerando no solo variables cuantitativas, sino también la experiencia del paciente. La implementación de tecnologías avanzadas en el diseño de muletas podría representar una solución crucial para mejorar la calidad de vida de millones de personas en todo el mundo.

8.4 Desafíos actuales en las tecnologías de asistencia

Hoy en día, los retos relacionados con las tecnologías de asistencia abarcan diversos aspectos que afectan su propia accesibilidad y efectividad. Una de las principales problemáticas tiene que ver con la asequibilidad de estos dispositivos, Según lo mencionado por (Bijleveld, 2023) “En la actualidad, alrededor de 2.500 millones de personas necesitan al menos una forma de tecnología de asistencia, y en 2050 esta cifra probablemente aumentará hasta los 3.500 millones.

No obstante, hay millones de personas que no cuentan con la tecnología de asistencia que requieren. Por lo tanto, esta desigualdad convierte a la tecnología de asistencia en un importante tema en materia de justicia social y de desarrollo, de la cual dejamos que continúe la falta de acceso a la tecnología de asistencia, dejaremos a una parte de la población atrás, a menudo, de modo que literalmente, el acceso a la tecnología de asistencia es un derecho humano, por lo que debemos hacer un esfuerzo adicional para

garantizar que para cada persona que la requiera, habrá acceso, y que la tecnología de asistencia será no sólo accesible, sino también segura y eficaz.

9 Información dentro del Marco Teórico

9.1 Ergonomía en el diseño.

La ergonomía puede tener dos enfoques científicos. Uno de ellos es el de construir una determinada teoría y proporcionarle pruebas experimentales que la validen en el campo del trabajo. Por el contrario, el segundo enfoque plantea proporcionar una diversidad de ejemplos de diferentes sectores de la actividad laboral que, a partir de la analogía, la metáfora y la ilustración, puedan dar pie a reconstrucciones que expliquen comúnmente las dificultades con las que se encuentran los trabajadores. Esta lógica hace que se perciban conceptos como los de dicha disciplina sin llegar a tener que realizar una construcción correcta.

La ergonomía está muy relacionada con las ciencias naturales, pero también con las ciencias culturales, lo que permite establecer de forma equilibrada las actividades corporales y mentales del trabajador. La química, la física y la biología, junto con la matemática formal, convergen en las ciencias técnicas, las ciencias médicas y en el desarrollo del propio trabajo. El derecho, la filosofía desde las ciencias sociales, permiten interpretar las relaciones humanas en el trabajo. Decir que en ergonomía se tiende a esta cohesión es dejar de lado la forma en que se construye la teoría. Si bien es verdad que esta explicita cómo deben entenderse las relaciones con el trabajo, no es la única explicación. Utamaro (1998) señala que la ergonomía también da cuenta de la interrelación entre el entorno y el trabajador, evitando que la ergonomía parezca ser simplemente el método de trabajo único y exclusivo.

Uno de los principales aspectos que persigue la ergonomía es facilitar criterios con los que configurar el sistema productivo, es decir, tener en cuenta las exigencias y cualidades del ser humano dado un sistema de trabajo en cada sector. Las variaciones en la

carga del trabajo sean de carácter físico o mental, así como también por las tareas que deben realizar los trabajadores, llevan a exigir un diseño de los lugares de trabajo que optimice el desempeño de la forma en que deben llevar a cabo el mismo.

9.2 Calidad del diseño

La calidad en el trabajo, el proceso y el diseño se relaciona directamente con la ergonomía, donde ambos ámbitos persiguen el mejor funcionamiento posible de las personas en el trabajo. La ergonomía adapta el trabajo a los hombres y mujeres, mientras que la calidad del diseño asegura que los productos y los procesos sean funcionales, eficaces y adecuados a su uso. La calidad se mide no solo a partir de criterios meramente técnicos, sino también por relación a la experiencia del usuario, donde se tiene en cuenta aspectos como la seguridad o la facilidad de uso. La calidad del diseño puede disgregarse en distintos niveles, como la calidad de investigación de mercado que identifica las verdaderas necesidades del usuario, la calidad de concepto que define las características del producto para atender las necesidades o la calidad de especificación que asegura que el producto es tal como se ha pensado y prima la especificación desde el propio inicio del concepto hasta su producción. Estos aspectos se unen entre sí porque ambos buscan alinear las condiciones de trabajo y el nivel de capacidad física y mental en los trabajadores, donde los productos y los procesos son accesibles, seguros y eficaces. Para la calidad de un sistema productor ahora se pueden introducir atributos como la fiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, donde ambos atributos son básicos tanto en el diseño como en la ergonomía; así, el diseño ergonómico no sólo se ha de considerar en sus aspectos de confort y seguridad para el trabajador, sino también en el propio proceso productor y en el rendimiento, en la relación de este propio proceso con la sostenibilidad. Por lo que la

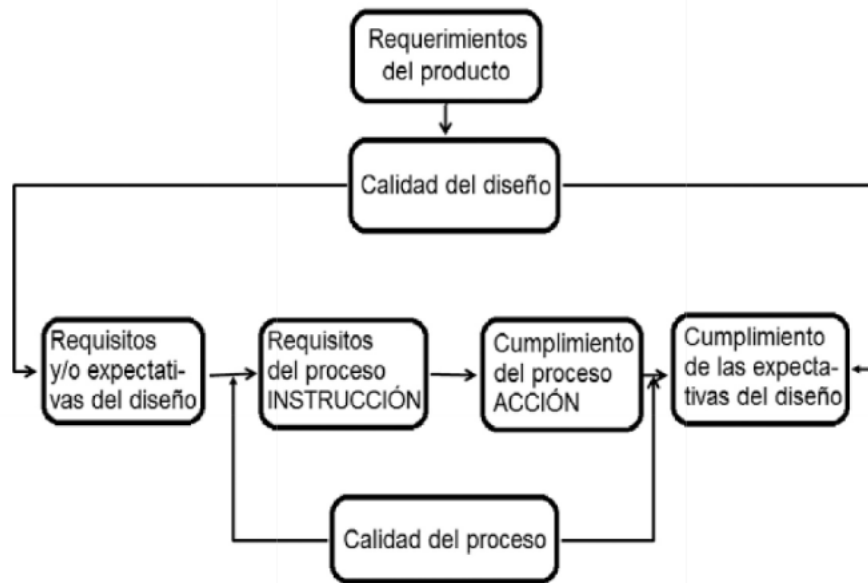


Ilustración 8. Rivas, R. R. (2013). Rivas, R. R. (2013). *Diseño del producto y calidad del proceso.*[Ilustración] Editorial Nobuko. Recuperado de <https://elibronet.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/77259?page=47>.

integración de la ergonomía en el trabajo del diseño y de la gestión de la calidad puede darnos productos y/o entornos laborales más eficaces y con menor riesgo de fatiga.

9.3 Marco Legal y normativo de la discapacidad en Colombia

De acuerdo con los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) que llevó a cabo el DANE en 2018, la población de Colombia asciende a la cifra de 48 258 494 habitantes, con una leve predominancia de las féminas frente a los varones (51,2% frente un 48,8%). La distribución muestra una notoria concentración en el ámbito urbano o cabeceras municipales, donde alberga al 71,1% de la población estudiada; en ello, un 15,8% se encuentra en zonas rurales dispersas, y un 7,1% en centros poblados. Esta información demográfica permite sintetizar con coherencia las dinámicas poblacionales y la planificación de políticas públicas que vehiculen la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

Referente a la población con discapacidad, el CNPV 2018 cuenta con unas 3.134.006 personas en esta condición, siendo un 46% de la población hombres y un 56% mujeres. Estos datos enfatizan la necesidad de fortalecer la inclusión y la accesibilidad, posibilitando la igualdad de oportunidades para todas las personas, sea cual sea su condición. La protección de sus derechos implica que tal protección exija la existencia de normas que promuevan su desarrollo y cualificado ejercicio en todos los ámbitos de la vida social, ecológica.

En este sentido, la Convención Americana sobre Derechos Humanos, el Pacto de San José, establece la obligación para los Estados Parte en la protección y la promoción de los derechos humanos. La Asamblea General de las Naciones Unidas pone de manifiesto que tanto las personas como las instituciones deben promover el acatamiento de los derechos humanos mediante la educación y la enseñanza, las cuales deberán idear progresivamente medidas a nivel nacional e internacional. Se busca, así, la salvaguarda del ejercicio pleno y efectivo de los derechos humanos en pro de la generación de sociedades más equitativas.

Según lo que establece la (Dirección de desarrollo social, 2025) “discapacidad es un concepto que evoluciona y que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás.” Conforme a esta definición, la discapacidad no se puede entender únicamente como una característica individual, sino que hay que considerarla como un efecto de la relación que mantienen las personas con deficiencias y las barreras físicas, sociales y tecnológicas de su entorno. Por ende, esta definición plantea la importancia de ir desarrollando soluciones que vayan reduciendo las limitaciones que sufren las personas y que garanticen una mayor autonomía e inclusión en la sociedad de estas personas.

Una de las herramientas claves para alcanzar lo anterior es la asistencia tecnológica en dispositivos de apoyo, como los bastones inteligentes, los cuales, en su versión tradicional, proporcionan el soporte a la movilidad que el usuario requieren; pero con la incorporación de tecnología integrada, su uso puede mejorar de forma significativa su movilidad y la percepción del entorno. Sensores de proximidad, alertas vibratorias, GPS,

materiales ligeros y resistentes pueden hacer que se conviertan en dispositivos más funcionales y accesibles, así como la utilización de plásticos reciclados para su fabricación ayuda a formar parte de la economía circular al procurar un menor impacto ambiental y una forma optimizada para utilizar los recursos haciendo bastones asequibles sin quitar calidad y durabilidad.

El desarrollo de estos bastones también debe estar alineado con el marco legal y normativo sobre la discapacidad en Colombia. Cumplir estándares de accesibilidad y seguridad es importante; Ley 1618 de 2013 establece ciertas disposiciones tendientes a garantizar el ejercicio pleno de los derechos de las personas con discapacidad y desde el 2006 la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad de la ONU, ratificada por Colombia establece la necesidad de eliminar las barreras y procurar el acceso a las tecnologías de asistencia, de tal manera que la innovación en bastones tecnológicos está relacionada con un avance en inclusión y movilidad pero también responde a una responsabilidad social y legal de garantizar iguales oportunidades.

Adicionalmente, (Dirección de desarrollo social, 2025) señala que “Las personas con discapacidad incluyen a aquellas que tengan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás.” La definición mencionada pone de relieve la pluralidad de las circunstancias que pueden causar discapacidad y como éstas tienen relación con la vida cotidiana se hallan íntimamente vinculadas con las barreras del entorno. En este sentido, los bastones con tecnología son un producto innovador para las personas con movilidad reducida, ya que permiten eliminar ciertas barreras existentes y mejorar la autonomía personal. Los bastones con tecnología incorporan sensores que anticipan obstáculos, sistemas de navegación asistida, materiales reciclados que garantizan resistencia y ligereza y contribuyen al aumento de la calidad de vida de las personas con discapacidad. Además de facilitar el desplazamiento, contribuyen a la inclusión social; el diseño para la accesibilidad y la sostenibilidad promueven una sociedad mejor, en la que las personas con discapacidad puedan participar en cualquier tipo de actividad del día a día.

9.4 Marco Legal Normativos de plásticos en Colombia

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha dado un paso muy importante hacia la reducción del impacto ambiental de los plásticos de un solo uso en Colombia, mediante la Resolución 0803 de 2024, que reglamenta la Ley 2232 del 2022, la cual establece la eliminación progresiva de 21 productos plásticos de un solo uso para 2030, siendo ocho de ellos desde el 7 de enero de 2024. Su finalidad es impulsar la economía circular y promover alternativas sostenibles, involucrando a los actores en la cadena de reciclaje y al sector productivo de cara a la transformación hacia un modelo respetuoso con el medio ambiente. En este sentido, la fabricación de ayudas técnicas, como los bastones canadienses con tecnología asistencial integrada podría beneficiarse de la implementación de plásticos reciclados. La reglamentación establece que los productos plásticos que sean coincidentes con la norma ambiental serán aquellos que cumplan criterios de biodegradabilidad, compostabilidad o que sean de materia prima reciclada de origen nacional, aspecto que abre la puerta para que el sector de tecnología asistencial pueda implementar el uso de materiales sostenibles en la producción de ayudas para personas con movilidad reducida, por tanto, no sólo se garantizará la funcionalidad y durabilidad de los dispositivos, sino que también se respetarán los principios de la economía circular. Adicionalmente, esta normativa se encuentra en sintonía con el marco normativo de la discapacidad en Colombia, como, por ejemplo, la Ley 1618 del 2013, la cual busca garantizar la inclusión plena de las personas con discapacidad. La incorporación de materiales reciclados en la fabricación de bastones con asistencia tecnológica no sólo favorece la sostenibilidad del ambiente, sino que también responde a una necesidad de la sociedad mejorando la movilidad de las personas con discapacidad. Así, con esta innovación se reitera el compromiso del país a los ODS, principalmente al ODS 10 (Reducción de las desigualdades) y al ODS 12 (Producción y consumo responsables).

Cabe resaltar que, el artículo 18 de la Ley 2232 de 2022 Congreso de la República de Colombia que Los vendedores y distribuidores de plásticos de un solo uso quedarán incluidos en lo dispuesto en la ley siempre que, en el marco de un plan de Responsabilidad Ampliada de Productores y Economía Circular, realicen las acciones del artículo 2.

- “Acción 100: Recuperan y aprovechan por lo menos el 100% del plástico puesto en el mercado de su propio tipo de producto, o de un producto realizado con el mismo polímero o mezcla de polímeros de su producto.”

(Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2022) citar

Según se establece en el artículo 18 de esta Ley, incluirán en el concepto de alternativas sostenibles a aquellos productos que sean realizados a partir de materiales plásticos reciclados y que pasen por un proceso de reciclaje operativo y efectivo; aquellos que tengan una debida cadena de valor constituida con la capacidad de ser aprovechados; aquellos que estén sometidos a objetivos concretos por tipo de producto y/o polímero a los que se refiere un modelo de Responsabilidad Extendida del Productor y una economía circular. Para ello, es importante esclarecer que la economía circular según lo argumentado en ((Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2022)) es

“Modelo económico basado en sistemas de producción y consumo que promueven la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de flujos de materiales a través de innovación tecnológica, colaboración entre actores y modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible”, Agregando que para (Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2022) () “Aquellos bienes fabricados por empresas que cumplan los criterios establecidos para las "Alternativas sostenibles con enfoque de economía circular" estará exceptuadas de la prohibición de la que trata esta ley”.

Los plásticos hacen parte de un grupo de compuestos orgánicos denominados, de manera general, como polímeros. Están conformados por largas cadenas denominadas macromoléculas, las cuales contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Los polímeros se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas, las cuales pueden ser de origen sintético o natural, y, dependiendo de la estructura y forma en la que el carbono se une con hidrógeno, oxígeno o nitrógeno, cambian radicalmente las propiedades físicas y desempeño del material.

Los materiales plásticos (polímeros) se dividen en dos grandes familias:

Termoplásticos: es decir, materiales que se ablandan al ser calentados y se endurecen

nuevamente al enfriarse; Termoestables: que adoptan una forma permanente al aplicarles calor y presión y no se ablandan nuevamente en presencia de la temperatura.

10 Análisis de Restricciones

10.1 Restricciones Ambientales

10.1.1 Uso de plástico reciclado (HDPE).

El proyecto utiliza plástico reciclado de alta densidad (HDPE), lo cual es una ventaja ambiental. Sin embargo, se deben considerar las restricciones relacionadas con la calidad y disponibilidad del material reciclado.

Es necesario verificar que el HDPE cumpla con los estándares de seguridad y durabilidad para su uso en dispositivos de movilidad.

- Solución propuesta: Realizar pruebas de laboratorio para garantizar que el HDPE cumple con las normativas de seguridad y durabilidad en dispositivos de movilidad.
- Utilizar aditivos o procesos de mejora (como reforzamiento con fibra de vidrio o compuestos) para aumentar la resistencia del HDPE sin comprometer su reciclabilidad.
- Restricción legal: En Colombia, el uso de materiales reciclados debe cumplir con normativas ambientales, como la Resolución 1407 de 2018, que regula la gestión de residuos de envases y empaques.

10.1.2 Impacto ambiental del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación del bastón debe minimizar la generación de residuos y emisiones contaminantes.

- Restricción: Si el proceso requiere el uso de sustancias químicas peligrosas, se deben obtener permisos ambientales y cumplir con las normativas vigentes (por ejemplo, la Ley 99 de 1993).

- Solución propuesta: Hay que asegurar que el proveedor de HDPE reciclado tenga certificaciones que demuestren el cumplimiento de la normativa ambiental en Colombia.
- Incluir un plan de gestión de residuos y reciclaje en el proceso de fabricación para cumplir con la Resolución 1407 de 2018 y otras regulaciones ambientales.

10.1.3 Disposición final del producto.

Al final de su vida útil, el bastón debe ser reciclable nuevamente.

- Restricción: Si el producto no cumple con estos criterios, podría enfrentar limitaciones en mercados con regulaciones ambientales estrictas.
- Solución propuesta: Incluir un plan de gestión de residuos y reciclaje en el proceso de fabricación para cumplir con la Resolución 1407 de 2018 y otras regulaciones ambientales.

10.2 Restricciones Económicas

10.2.1 Costos de fabricación.

El uso de plástico reciclado puede reducir costos, pero la integración de tecnología electrónica (sensores y luces LED entre otros dispositivos electrónicos implementados) podría incrementarlos.

- Restricción: El presupuesto disponible para el proyecto debe ser suficiente para cubrir los costos de diseño, fabricación y pruebas del prototipo.
- Solución propuesta: Implementar un enfoque de fabricación escalonada, produciendo un número limitado de unidades al inicio y aumentando la producción a medida que se generan ingresos.

10.2.2 Viabilidad comercial.

El precio final del bastón debe ser accesible para el público objetivo (personas con discapacidad o movilidad reducida).

- Restricción: Si el costo es demasiado alto, el producto podría no ser viable en el mercado.

- Solución propuesta: Realizar un estudio de mercado para identificar segmentos dispuestos a pagar más por la tecnología integrada, diversificando las opciones de comercialización.
- Implementar modelos de financiamiento como pagos a plazos o alianzas con aseguradoras y EPS que puedan cubrir parte del costo para los usuarios con discapacidad.

10.2.3 Subsidios y apoyos gubernamentales.

En Colombia, existen programas de apoyo para personas con discapacidad y proyectos de innovación tecnológica.

- Restricción: Depender de subsidios o apoyos gubernamentales puede limitar la autonomía financiera del proyecto.
- Solución propuesta: Crear convenios con fundaciones y ONGs enfocadas en la movilidad de personas con discapacidad para acceder a financiamiento sin depender del gobierno.

10.3 Restricciones Legales

10.3.1 Normativas de dispositivos médicos y de asistencia.

El bastón canadiense debe cumplir con las normativas colombianas para dispositivos de movilidad, como la Resolución 2003 de 2014 del Ministerio de Salud.

- Restricción: Si el producto no cumple con estas normativas, no podrá ser comercializado.
- Solución propuesta: Asesorarse con expertos en regulación sanitaria para gestionar la certificación del bastón ante el INVIMA u otras entidades competentes antes de su lanzamiento al mercado.

10.3.2 Regulaciones sobre plásticos reciclados.

El uso de HDPE reciclado debe cumplir con las normas técnicas colombianas (NTC) para materiales plásticos NTC 5931 (Plásticos reciclados para productos médicos).

- **Restricción:** Si el material no cumple con los estándares de calidad, no podrá ser utilizado en la fabricación del bastón.
- **Solución propuesta:** Trabajar con proveedores de plástico reciclado certificados que cumplan con los estándares nacionales y cuenten con certificaciones de calidad.
- **Propiedad intelectual:** Si el diseño o la tecnología integrada en el bastón son innovadores, se debe considerar la protección de patentes o derechos de autor.
- **Restricción:** Si no se protege la propiedad intelectual, el proyecto podría ser replicado sin beneficio para los creadores.
- **Solución propuesta:** Registrar el diseño y la tecnología del bastón ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) para evitar plagios y garantizar derechos exclusivos sobre la innovación.
- **Utilizar contratos de confidencialidad** con proveedores y colaboradores para evitar filtraciones de información clave sobre el desarrollo del bastón antes de su comercialización.

10.4 Restricciones de Salud y Seguridad

10.4.1 Seguridad del usuario.

El bastón debe ser seguro y no representar riesgos para el usuario (por ejemplo, evitar fallas en los sensores de inclinación o en el sistema GPS).

- **Restricción:** Si el producto no cumple con los estándares de seguridad, no podrá ser comercializado.
- **Solución propuesta:** Realizar una investigación exhaustiva con el fin de cumplir con normativas internacionales como ISO 13485 para dispositivos médicos para contar con el aval y confianza de los usuarios.

10.4.2 Salud de los trabajadores.

El proceso de fabricación debe garantizar la seguridad de los trabajadores, especialmente si se utilizan maquinarias o sustancias químicas.

- Restricción: Si no se cumplen las normas de seguridad laboral, el proyecto podría enfrentar sanciones legales.
- Solución propuesta: Capacitar a los trabajadores en seguridad industrial y manejo de maquinarias además de Implementar protocolos de seguridad en la fabricación, incluyendo el uso de equipos de protección personal (EPP).

10.4.3 Compatibilidad del material.

El HDPE utilizado debe ser compatible y no tóxico para evitar reacciones alérgicas o problemas de salud en los usuarios.

- Restricción: Si el material no es biocompatible, no podrá ser utilizado en dispositivos de movilidad.
- Solución propuesta: Realizar pruebas de compatibilidad en laboratorios certificados para evaluar el impacto en la piel y la salud del usuario.

10.5 Restricciones Socioculturales

10.5.1 Aceptación del producto.

El bastón debe ser aceptado por los usuarios, tanto por su funcionalidad como por su diseño.

- Restricción: Si el producto no se adapta a las necesidades y preferencias de los usuarios, no tendrá éxito en el mercado.
- Solución propuesta: Realizar estudios de mercado con potenciales usuarios para diseñar un bastón ergonómico y estéticamente atractivo, además de incluir opciones de personalización, como colores o accesorios, para aumentar la aceptación.

10.5.2 Cultura de reciclaje.

En Colombia, la cultura de reciclaje aún está en desarrollo.

- Restricción: Si los usuarios no valoran el uso de materiales reciclados, el proyecto podría perder atractivo.
- Solución propuesta: Hay que destacar el impacto positivo del reciclaje en la economía circular y en la sostenibilidad ambiental.

10.5.3 Accesibilidad y equidad.

El producto debe ser accesible para personas de diferentes niveles socioeconómicos.

- Restricción: Si el precio es demasiado alto, el producto podría excluir a personas de bajos recursos.
- Solución Propuesta: Implementar estrategias de producción eficiente para reducir costos sin comprometer la calidad

10.6 Restricciones Técnicas

10.6.1 Disponibilidad de tecnología.

10.6.2 La integración de sensores de inclinación, luces LED entre otros requiere componentes electrónicos específicos.

- Restricción: Si estos componentes no están disponibles en el mercado local, se deben importar, lo que incrementa los costos.
- Solución propuesta: Investigar opciones de sensores y microcontroladores más accesibles que puedan cumplir con las especificaciones técnicas sin depender de marcas costosas.

10.6.3 Capacidad de fabricación

El proceso de fabricación debe ser compatible con las capacidades técnicas y logísticas disponibles.

- Restricción: Si no se cuenta con la maquinaria o el personal calificado, el proyecto podría retrasarse o no ser viable.
- Solución propuesta: Colaborar con empresas especializadas en manufactura de plásticos reciclados para optimizar la producción, también explorar la oportunidad de desarrollar alianzas con universidades o centros de investigación para mejorar procesos y capacitación del personal.

11 Metodología para la selección y desarrollo de la solución

La presente investigación plantea una metodología coherente con los objetivos del estudio, orientados a analizar las percepciones de personas con discapacidad de movilidad frente al diseño de un bastón canadiense personalizado, elaborado con materiales reciclables e incorporando elementos tecnológicos. Se ha diseñado un proceso metodológico riguroso que combina enfoques cualitativos y cuantitativos, permitiendo tanto explorar las experiencias y opiniones de los participantes como identificar patrones de aceptación frente al producto. A continuación, se describen los elementos clave del diseño metodológico:

11.1 Tipo de investigación

El estudio se enmarca en una investigación de tipo **exploratorio-descriptivo**, ya que busca analizar las percepciones de usuarios con discapacidad de movilidad respecto a un bastón canadiense personalizado, fabricado con materiales reciclables y elementos tecnológicos que promuevan la sostenibilidad y el confort. La investigación se orienta a generar conocimiento útil para el diseño y desarrollo de un producto adaptado a las necesidades reales de esta población específica.

11.2 Enfoque

Se adopta un **enfoque mixto**, combinando herramientas cuantitativas y cualitativas. Este enfoque permite no solo cuantificar el nivel de aceptación de la propuesta, sino también explorar de forma más profunda las percepciones, necesidades, sugerencias y valoraciones subjetivas de los participantes. La integración de ambos tipos de datos enriquece el análisis y garantiza una mayor comprensión del fenómeno desde distintas perspectivas, coherente con los objetivos y la justificación del estudio.

11.3 Muestra

La población objetivo está conformada por personas con **discapacidad física o movilidad reducida**. Se empleará un **muestreo no probabilístico por conveniencia**,

seleccionando participantes que cumplan con el perfil del usuario final del bastón. Se establece una muestra mínima entre **10 y 15 personas**, número suficiente para obtener datos significativos en un estudio exploratorio. Esta elección responde a la necesidad de acceder a información directa y relevante sin pretender generalización estadística, sino una comprensión profunda del usuario.

11.4 Instrumento de medición

El instrumento principal será una **encuesta mixta**, diseñada con preguntas tanto **cerradas** (cuantitativas, tipo Likert y opción múltiple) como **abiertas** (cualitativas), que permitan recopilar datos sobre la aceptación, utilidad percibida, diseño, comodidad y sostenibilidad del bastón canadiense propuesto. Este instrumento permitirá obtener datos válidos y útiles para ajustar o validar el diseño planteado según las percepciones reales del público objetivo.

Nota: Para acceder a la encuesta use el código OR o de clic en el enlace.



<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=WbVvwGgbhEuhT0fQ2Delq45OYgiAjGtEgvKbkwjD0KRUNzdQSjNOMFFaOFVPTkNFSEJVR0FIMVBRUC4u>

Adicionalmente, se tiene previsto considerar uno de los casos de estudio presentados en el marco teórico de esta investigación. En particular, se tomarán en cuenta experiencias exitosas relacionadas con componentes electrónicos, incluyendo aspectos como la obtención de datos y las recomendaciones futuras derivadas de dichos proyectos, siempre que se identifique que su aplicación es pertinente y se ajusta a las necesidades específicas de esta investigación.

A continuación, se presentan los tres frentes principales que conforman las actividades esenciales para el desarrollo de esta investigación: *1) Investigación y diagnóstico inicial, 2) Diseño y desarrollo del prototipo, y 3) Pruebas y validación.* A partir de este punto, se detallará cómo se han ejecutado y llevado a cabo cada una de estas actividades, describiendo de manera estructurada los avances, resultados y procesos que han contribuido al cumplimiento de los objetivos planteados.

11.5 Investigación y diagnóstico inicial

11.5.1 Revisión bibliográfica sobre el uso de plástico reciclado (HDPE) en la fabricación de dispositivos de asistencia.

Como parte del proceso investigativo, se realizó una revisión bibliográfica centrada en el uso de plástico reciclado, específicamente polietileno de alta densidad (HDPE), en la fabricación de dispositivos de asistencia. Para ello, se consultaron principalmente artículos científicos y algunos textos especializados, priorizando estudios y proyectos que abordaran enfoques sostenibles y la integración de componentes electrónicos, similares al objetivo de esta investigación. Durante la revisión se identificaron tres casos de estudio relevantes, de los cuales se seleccionó uno como referencia principal, dado que presentaba mayores similitudes con el enfoque metodológico y técnico de nuestro proyecto. Este ejercicio bibliográfico no solo enriqueció el marco teórico, sino que también proporcionó una base comparativa útil para el diseño de nuestra metodología. Una observación destacada fue que, aunque el uso de plástico reciclado en proyectos de ingeniería es cada vez más común, son pocos los estudios que lo vinculan directamente con desarrollos en el área electrónica, lo cual refuerza el carácter innovador de nuestra propuesta.

1. Investigación sobre componentes electrónicos (sensores de inclinación, luces LED) y su integración en dispositivos de movilidad.

Se llevó a cabo una investigación técnica enfocada en la identificación y análisis de componentes electrónicos, específicamente sensores de inclinación y luces LED, con el fin de evaluar su viabilidad e integración en dispositivos de asistencia para la movilidad. Esta etapa incluyó la revisión de artículos

especializados, consultas en sitios web técnicos y un análisis detallado del caso de estudio previamente seleccionado, el cual nos permitió identificar componentes funcionales y adaptables a nuestro proyecto. A partir de esta investigación, se comprendió el valor agregado que ofrecen estos elementos, especialmente por su potencial para mejorar la seguridad y funcionalidad en la vida cotidiana de personas con movilidad reducida. Esta exploración fue fundamental para orientar la selección preliminar de sensores y sistemas de iluminación, cuya aplicación se detallará más adelante en el desarrollo del prototipo. Esta actividad se alinea directamente con el objetivo principal del proyecto: diseñar un bastón canadiense con tecnología integrada. Cabe resaltar que no se presentaron dificultades durante esta fase, lo cual facilitó un avance fluido en la estructuración técnica del dispositivo.

2. Estudio de dispositivos similares en el mercado para identificar oportunidades de mejora.

Como parte del proceso investigativo, se realizó un estudio de dispositivos similares disponibles en el mercado con el propósito de identificar oportunidades de mejora aplicables a nuestro proyecto. Inicialmente, la búsqueda se llevó a cabo a través de la web, sin embargo, debido a que muchos de estos dispositivos eran genéricos, fue necesario complementar la investigación con visitas a establecimientos del centro de la ciudad especializados en la venta de componentes electrónicos. Se realizó una comparación entre las funcionalidades, los materiales de fabricación y los precios, concluyendo que, en términos generales, los componentes disponibles ofrecen características similares, variando principalmente en la marca y la durabilidad, aspectos que suelen estar ligados al valor comercial. Este análisis permitió tomar decisiones informadas sobre qué elementos adquirir para avanzar en la etapa de pruebas, facilitando así la validación preliminar de la parte electrónica del bastón canadiense con tecnología integrada.

12 Obtención de datos

12.1 Aplicación de la encuesta:

La encuesta será aplicada a las personas con discapacidad de movilidad que cumplan con los requisitos de la muestra (10-15 personas) y se recojan sus respuestas mediante Microsoft forms de forma digital, dependiendo de la accesibilidad de los participantes.

Las preguntas se dividirán entre cuantitativas (escala Likert, y cerradas) y cualitativas (preguntas abiertas), lo que permitirá obtener tanto datos numéricos como descripciones detalladas.

12.2 Registro de las respuestas:

- Las respuestas cuantitativas se registrarán en una escala de 1 a 5, que es la forma estándar de calificar las percepciones de los participantes sobre el diseño, la funcionalidad, la sostenibilidad y la confianza en el producto.

Las respuestas cualitativas se tomarán de las respuestas abiertas y se transcribirán para su posterior análisis.

13. Resultados y mejora continua

Documentación de los resultados obtenidos durante las pruebas.

El prototipo físico del bastón canadiense se culminó satisfactoriamente en su componente mecánico, demostrando:

Funcionalidad estructural: Resistencia a cargas de 150 kg y ajuste ergonómico validado por usuarios.

Sostenibilidad: Uso de HDPE reciclado (70%) en piezas impresas en 3D (soporte de antebrazo y miple), cumpliendo con los ODS 12.

Sin embargo, la integración electrónica no pudo completarse debido a:

Fallas en la fabricación de los PCBs: Cortocircuitos en pistas críticas por errores del proveedor, detectados en pruebas preliminares.

Plazos ajustados: El proyecto inició el 16 de febrero con fecha de entrega final el 19 de mayo, lo que imposibilitó refabricar las tarjetas (tiempo estimado: 21 días hábiles).

13.1 Lecciones Aprendidas y Mejoras Futuras

Para producción escalable:

- Buscar proveedores de **HDPE reciclado para mecanizado** (evitando limitaciones de impresión 3D).
- Evaluar **Nylon PA6 reciclado** posindustrial para mantener sostenibilidad.

Optimización de diseño:

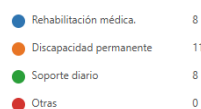
- Reducir longitud de piezas individuales para permitir impresión 3D segmentada en HDPE.
 - a. Realización de ajustes menores en el diseño o funcionalidad del prototipo, si es necesario.
 - b. Elaboración de un informe final con las conclusiones y recomendaciones.

13.2 Resultados Obtención de Datos (encuestas)

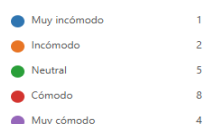
La encuesta fue realizada a 20 personas con movilidad reducida, con el fin de obtener datos de la fuente de las necesidades y preferencias de los posibles consumidores.

Por lo tanto, las respuestas se ven reflejadas en los siguientes gráficos.

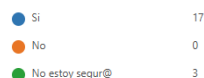
1. ¿Cuál es la principal razón por la que utilizas un bastón canadiense?



4. ¿Qué tan cómodo considera que sería un bastón canadiense diseñado con materiales reciclables?



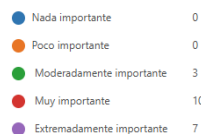
2. ¿Considera que un bastón canadiense personalizado sería útil para su movilidad diaria?



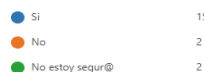
5. ¿Qué tan dispuesto/a estaría a utilizar un bastón canadiense que incorpore tecnología (por ejemplo, sensores, alertas, GPS, luz led etc.)?



3. En una escala del 1 al 5, ¿cómo calificaría la importancia de la sostenibilidad en los productos que utiliza?



6. ¿Le parece importante que un bastón canadiense sea personalizado a sus necesidades y preferencias?



De la primera pregunta, se puede inferir que todos los encuestados presentan una

Ilustración 9. Gráfico 1 de Torta respuesta de Encuesta.

condición de movilidad reducida, cumpliendo de esta manera con la muestra correspondiente y dando soporte a los datos recolectados ya que provienen de fuentes fehacientes. Por otro lado, se evidencia que en las preguntas 2 y 3 el 85% de la población encuestada consideran importante que el bastón sea personalizado y que sea elaborado con un material sostenible, debido a que la sociedad ahora es más consciente y valora más los materiales reciclables con el fin de ayudar al medio ambiente, además de preferir diseños personalizados que se ajusten a la necesidad de cada consumidor, teniendo en cuenta claramente, la comodidad y calidad del producto.

El 60% de los encuestados considera que un bastón canadiense elaborado con materiales reciclados sería cómodo, lo que indica una buena aceptación hacia alternativas sostenibles, por otro lado, casi la totalidad de la población encuestada (95%) están prestas a la idea de incorporar tecnología a los bastones con el fin de recopilar datos y mejorar funcionalidades a largo plazo. La personalización es claramente valorada por la mayoría de los encuestados (75%), lo que indica que un diseño adaptable y centrado en el usuario sería altamente beneficioso.



Ilustración 10. Gráfico 2 de Torta respuesta de Encuesta.

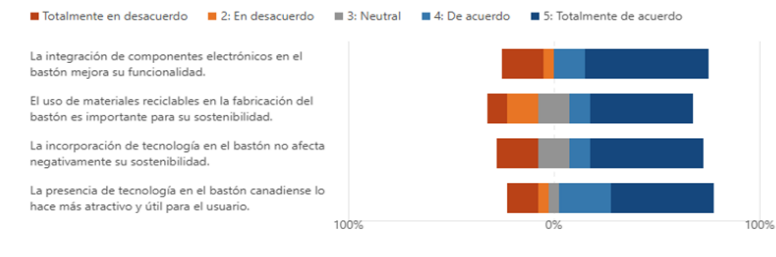
Poco más de la mitad de los encuestados (55%) prefiere un diseño tecnológico en los bastones canadienses, lo que refuerza el interés previamente identificado en incorporar funciones inteligentes (como sensores o GPS). El 35% que no tiene preferencia podría estar abierto a la posibilidad de incorporar un diseño tecnológico, sin embargo, es importante encontrar estrategias para darles la seguridad de implementar la tecnología en los productos. De acuerdo con la pregunta 8, una amplia mayoría (75%) estaría dispuesta a

participar en pruebas de prototipos, lo que representa una gran oportunidad para obtener retroalimentación directa de los usuarios para seguir innovando e investigando procesos para mejorar la calidad del producto.

Finalmente, se entra a la categoría de preguntas abiertas para que la población encuestada, muestre su opinión de una manera más personal; en cuanto a la pregunta de las características que debería cumplir el bastón, el aspecto más valorado por la población encuestada es la comodidad. Esto sugiere que, independientemente del nivel de tecnología o personalización, el diseño debe priorizar la ergonomía y el confort.

Las respuestas muestran una mezcla de curiosidad e incertidumbre. Algunas personas no tienen claridad sobre cómo la tecnología podría ayudar, mientras otras mencionan posibles mejoras ergonómicas, como en el área de apoyo o fuerza de movimiento. Esto sugiere que, aunque hay interés, también se requiere información clara y demostraciones funcionales para mostrar los beneficios reales de la tecnología incorporada. Por otro lado, las personas respaldan la implementación de materiales reciclados, siempre y cuando no se comprometa la comodidad y durabilidad, sin embargo, si se hace la claridad que el desempeño debe ser igual o superior al tradicional, además de tener muy presente el ámbito económico. Finalmente, las sugerencias se centran en el ajuste físico, como la altura del bastón y la ergonomía del agarre. Esto evidencia que un diseño ajustable y adaptable a distintos tipos de cuerpo sería una gran mejora.

13. A continuación, se presentan algunas afirmaciones sobre el diseño del bastón canadiense propuesto, el cual incorpora componentes electrónicos y está fabricado con materiales reciclables. Por favor, indique su nivel de acuerdo con cada afirmación, utilizando la escala de 1 a 5



14. El diseño del bastón canadiense me genera confianza para utilizarlo de manera diaria.



Ilustración 11. Gráfico 3 de barras respuesta de Encuesta.

Los encuestados valoran positivamente la integración de componentes electrónicos y el uso de materiales reciclables en el diseño del bastón canadiense, considerando que ambas características mejoran la funcionalidad y sostenibilidad del producto. La mayoría se mostró de acuerdo o totalmente de acuerdo con las afirmaciones planteadas, destacando el interés por un bastón más tecnológico y sustentable. No obstante, en la afirmación sobre el impacto de la tecnología en la sostenibilidad, se evidencian algunas dudas, lo que sugiere que aún existe cierta preocupación sobre cómo estos elementos podrían afectar la durabilidad o el impacto ambiental del producto. En cuanto a la última pregunta, los participantes expresan confianza en el diseño del bastón canadiense propuesto y una alta disposición a comprarlo, especialmente si incluye materiales reciclables y componentes tecnológicos. Las respuestas reflejan que la mayoría percibe la tecnología como un valor agregado que mejora la experiencia de uso y justifica su adquisición. A pesar de que algunas personas se muestran neutrales o ligeramente en desacuerdo, la tendencia dominante es favorable, indicando una buena aceptación del producto tanto en términos de funcionalidad como de confianza para su uso diario.

13.3 Resultados del diseño y desarrollo del prototipo

13.3.1 Diseño del bastón canadiense utilizando software de modelado 3D (SolidWorks).

Apoyo del antebrazo. Esta imagen muestra un modelo diseñado en SOLIDWORKS, que representa un bastón canadiense fabricado con plástico reciclado de alta densidad (**HDPE**). El enfoque del diseño está en la parte que sirve como apoyo para el antebrazo, lo cual es esencial para la funcionalidad y comodidad del usuario.

Proporciona soporte y estabilidad al antebrazo, facilitando la movilidad de personas con necesidades de asistencia al caminar, así como distribuir mejor el peso y reducir la fatiga.

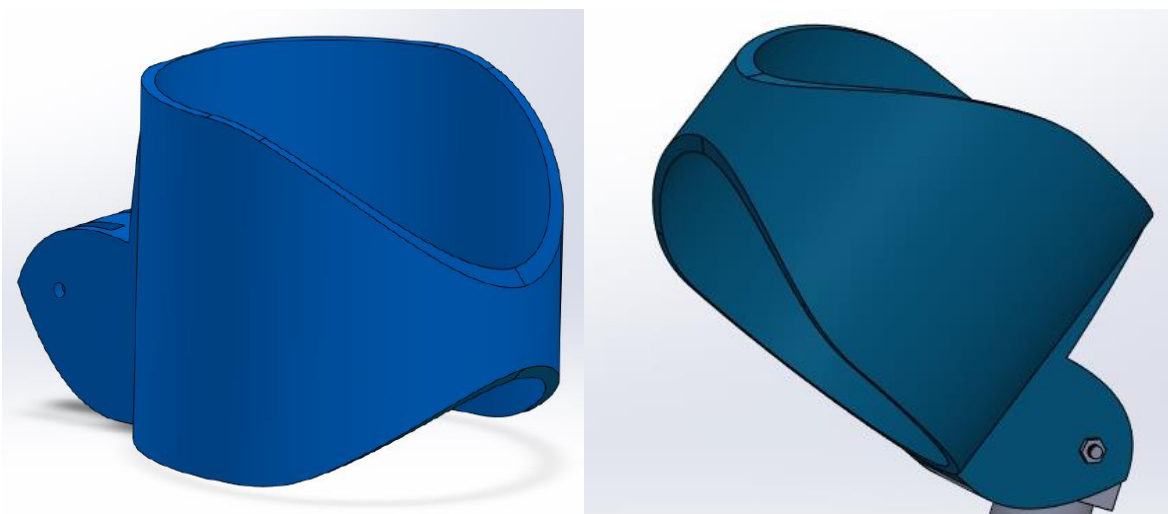


Ilustración 12. Diseño 3D del prototipo apoyo del antebrazo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Miple de sujeción del antebrazo. Esta imagen muestra un modelo diseñado en SOLIDWORKS, específicamente el miple de sujeción del antebrazo, que forma parte del bastón canadiense elaborado con plástico reciclado. El miple es el componente de ajuste o la pieza que sujeta y estabiliza el antebrazo del usuario, asegurando comodidad y seguridad durante el uso del bastón.

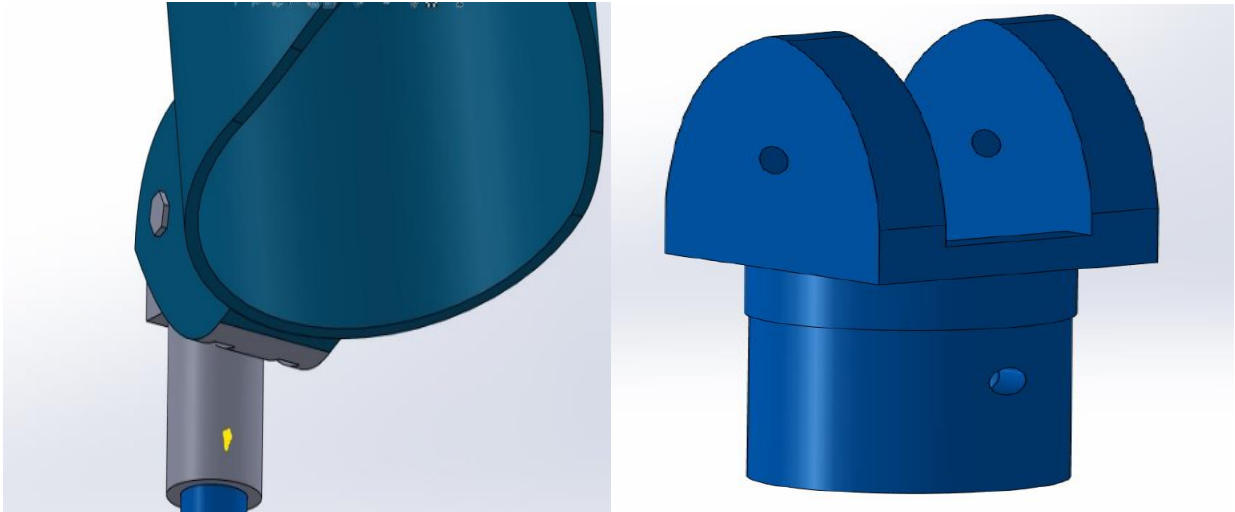


Ilustración 13. Diseño 3D del prototipo miple de sujeción antebrazo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia 2025.

Tornillo pasante de sujeción y estabilización entre el miple y el apoyo de antebrazo. Esta imagen presenta un modelo diseñado en SOLIDWORKS que corresponde al tornillo pasante, un componente clave para la sujeción y estabilización del miple (componente de ajuste del antebrazo) en el bastón canadiense de plástico reciclado.

Actúa como elemento de fijación que une el miple (pieza de sujeción del antebrazo) al bastón, garantizando estabilidad y ajuste seguro durante el uso. Permite movilidad regulable o desmontaje fácil para mantenimiento o adaptación ergonómica.

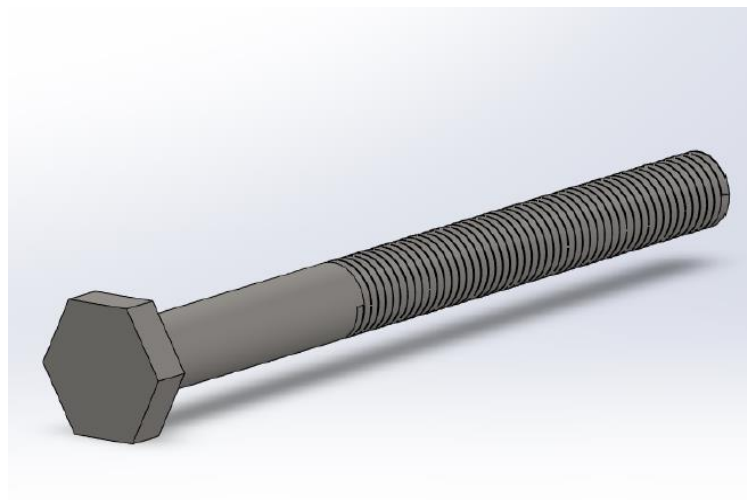


Ilustración 14. Diseño 3D del prototipo tornillo pasante de sujeción y estabilización del miple y del apoyo del antebrazo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Primer tubo de estabilización de peso, sujeción del miple y primera parte de la manija. Esta imagen muestra el modelo diseñado en SOLIDWORKS, que representa el primer tubo de estabilización de peso y sujeción del miple para el bastón canadiense de plástico reciclado.

Actúa como estructura principal de soporte que transfiere el peso del usuario desde el miple (soporte de antebrazo) hacia la base del bastón. Proporciona rigidez estructural al conjunto mientras mantiene ligereza gracias al uso de plástico reciclado. Adicionalmente incluye la primera parte de la manija de soporte de peso y manejo del bastón.

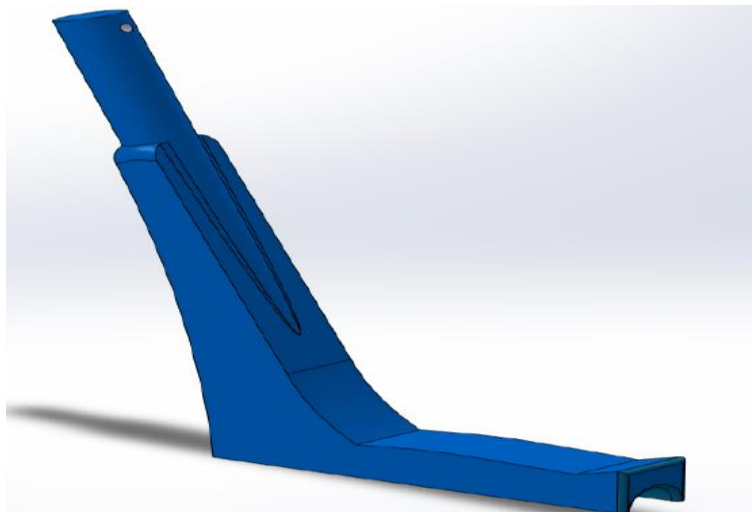


Ilustración 15. Diseño 3D del prototipo del primer tubo de estabilización de peso y sujetador del miple del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Segunda parte de la manija de soporte de peso y manejo del bastón. Esta imagen corresponde al modelo diseñado en SOLIDWORKS, que representa la segunda parte del sistema de soporte: la manija de apoyo de peso y manejo del bastón canadiense.

Constituye el punto principal de agarre para el usuario, diseñado ergonómicamente para:

- Distribuir el peso corporal de manera óptima
- Permitir un control preciso del bastón durante la marcha
- Minimizar la fatiga en la mano del usuario

- Geometría ergonómica: Contorneada para adaptarse a la anatomía de la mano

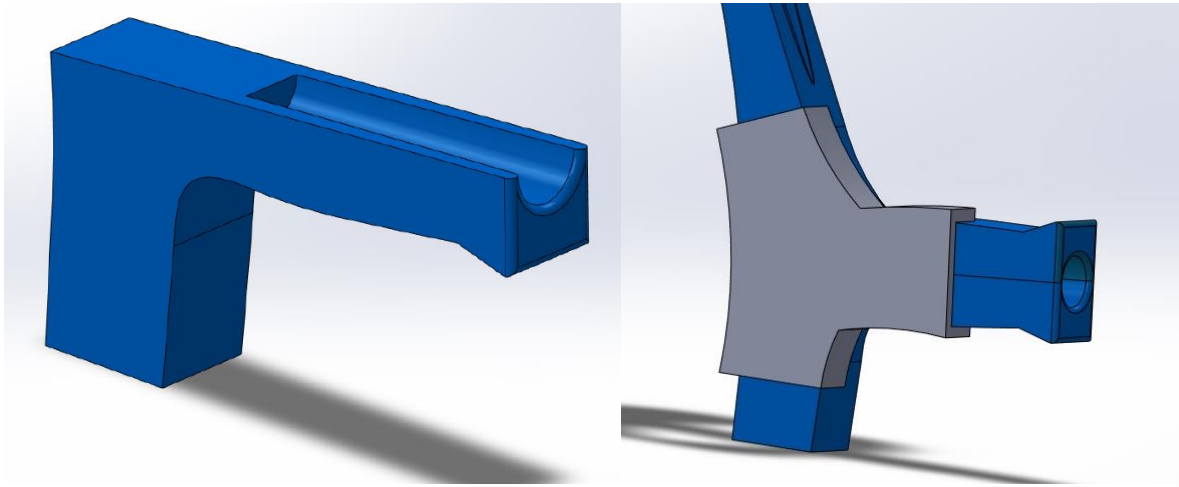


Ilustración 16. Diseño 3D del prototipo de la segunda manija y sistema de soporte de estabilización de peso y manejo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025)

Segundo tubo de estabilización de peso, sujeción de la segunda parte de la manija y conexión al tercer tubo de graduación de altura. Esta imagen muestra un componente clave del bastón canadiense, diseñado en SOLIDWORKS. Se trata del segundo tubo de estabilización que cumple tres funciones esenciales en el ensamblaje:

Funciones principales:

1. Transmisión de cargas:

- Continúa el sistema de transferencia de peso desde la manija superior hacia la base.
- Refuerza la estructura para evitar pandeo bajo presión.

2. Conectividad modular:

- Superior: Se acopla a la segunda parte de la manija.
- Inferior: Enlaza con el tercer tubo de graduación de altura.
- Incorpora sistema de ajuste para regular la longitud total

3. Integración del sistema:

- Complementa al primer tubo de estabilización.
- Forma el eslabón intermedio en la jerarquía estructural del bastón.



Ilustración 17. Diseño 3D del prototipo del segundo bastón de soporte de estabilización de peso, transmisión de carga y conectividad modular del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Tercer tubo de estabilización de peso, graduación de altura con rosca, conexión a la goma de soporte y conexión al segundo tubo modular. Esta imagen completa el sistema de tubos del bastón canadiense, representando el tercer tubo de estabilización con sistema de rosca para graduación de altura. Aquí su análisis técnico:

Sistema de ajuste por rosca (característica destacada):

a. Mecanismo de precisión:

- Rosca estándar métrica para permitir:
- Ajuste milimétrico de la altura total
- Bloqueo seguro sin partes móviles adicionales
- Diseñado para 200-300 ciclos de ajuste (primer prototipo)

b. Doble función estructural:

- **Transmisión vertical de cargas:** Desde los tubos superiores hasta la goma de base

- **Absorción de impactos:** Geometría optimizada para disipar vibraciones al caminar
- c. Innovaciones sostenibles:**
- **Rosca moldeada:** Integrada en el proceso de fabricación del plástico reciclado para minimizar piezas adicionales
 - **Pared variable:** Mayor espesor en zonas roscadas (3-4mm) vs pared estándar (2mm)



Ilustración 18. Diseño 3D del prototipo del tercer bastón de soporte de estabilización de peso, graduación de altura con rosca del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Goma del piso conexión al tercer tubo con rosca. Esta imagen presenta el componente final del bastón canadiense educativo: la base o goma antideslizante que se conecta al sistema de tubos.

Análisis técnico de la goma de base:

a. Función primaria:

- Proporciona adherencia segura en diversas superficies (desde pisos lisos hasta terrenos irregulares).
- Absorbe impactos y vibraciones durante el uso.

b. Sistema de conexión:

- **Interfaz roscada:** Se enrosca directamente al tercer tubo ("tubo-1rosca.pdf")
- **Mecanismo de bloqueo:** Incluye arandela de seguridad integrada para prevenir el desenroscado accidental

c. Diseño ergonómico:

- Base cónica con diámetro ampliado ($\approx 70-80\text{mm}$) para mayor estabilidad
- Patrón multidireccional de surcos en la superficie de contacto
- Mejora el agarre en mojado
- Facilita la autolimpieza de partículas



Ilustración 19. Diseño 3D del prototipo de la goma como soporte final del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Ensamble final Bastón Canadiense. Esta imagen presenta el ensamble final del bastón, sus medidas técnicas y el isométrico.

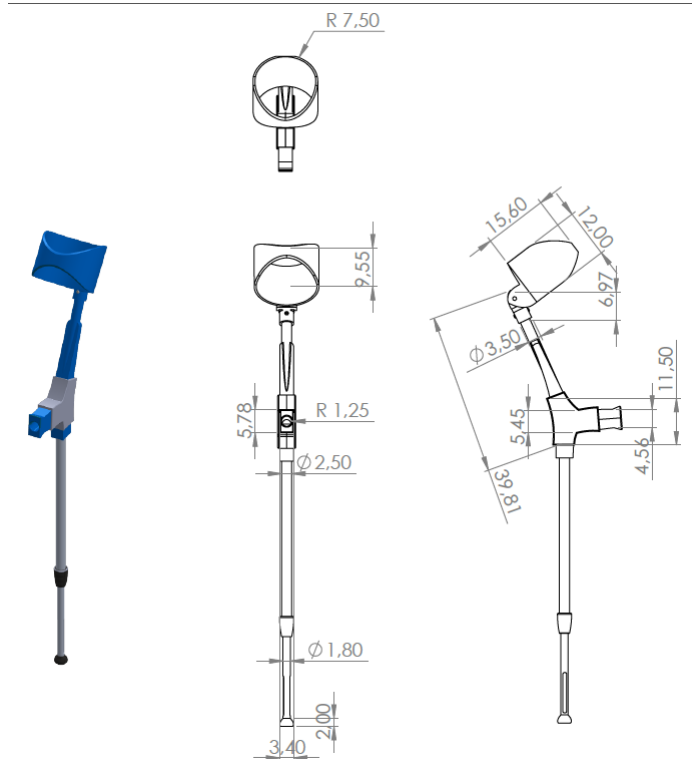


Ilustración 20. Diseño 3D del prototipo bastón canadiense con sus medidas y el isométrico. Nota Elaboración propia (2025).

Vista isométrica del ensamblaje completo:

a. Componentes integrados:

- Sistema de soporte de antebrazo (miple)
- Tubos de estabilización (3 secciones)
- Manija ergonómica
- Base antideslizante
- Tornillo pasante de sujeción

b. Análisis dimensional clave:

- **Altura total:** ~112 cm
- **Diámetros principales:**
- Tubos: $\phi 2,50$ cm
- Base antideslizante: ~6.95 cm

- **Puntos críticos:**
- Radio de curvatura del soporte: R7.50
- Espesor de paredes: 0.55 cm

c. Relación entre componentes:

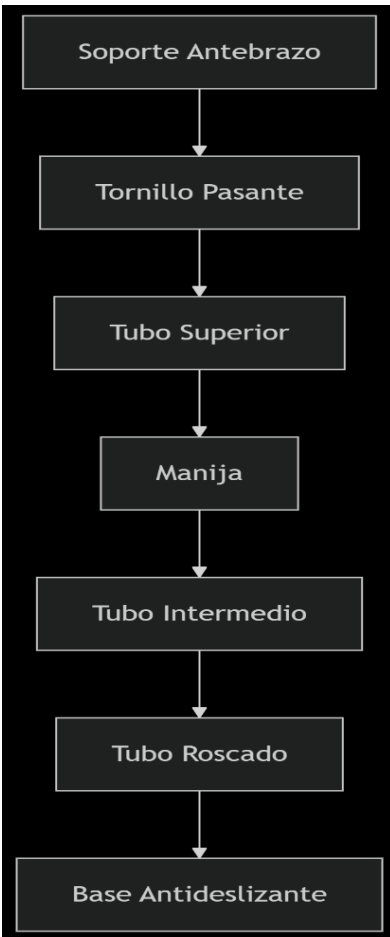


Ilustración 21. Diagrama de grado, diseño 3D del prototipo bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

d. Innovaciones destacables:

- Sistema modular con ajuste de altura
- Transición suave entre diámetros (conos de 5.45°)
- Optimización de espesores para peso/resistencia

13.4 Selección de componentes electrónicos (sensores de inclinación, luces LED, entre otros) y su integración en el diseño.

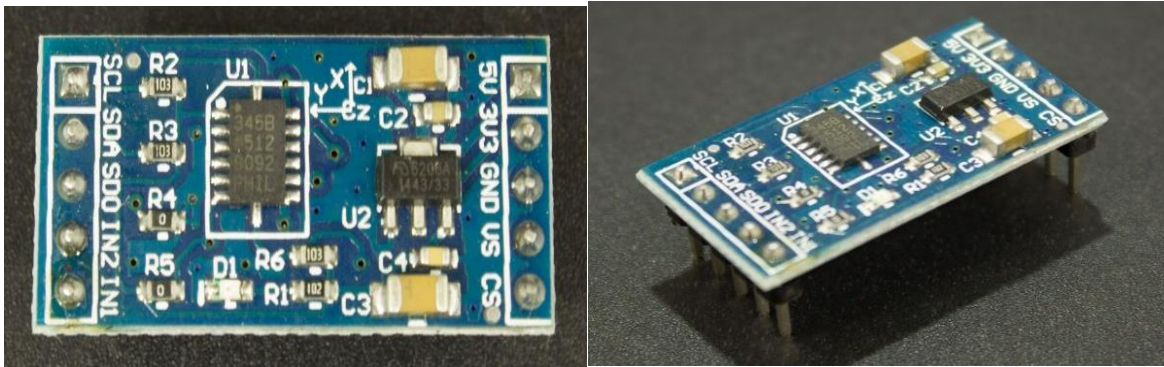


Ilustración 22. Diagrama del módulo ADXL345 con conexiones GPIO. Nota. Adaptado de Módulo Sensor Acelerómetro ADXL345, por Vistrónica, 2023. Fuente: <https://www.vistronica.com/sensores/imu/modulo-sensor-acelerometro-adxl345-detail.html> Fuente: <https://www.vistronica.com/sensores/imu/modulo-sensor-acelerometro-adxl345-detail.html>

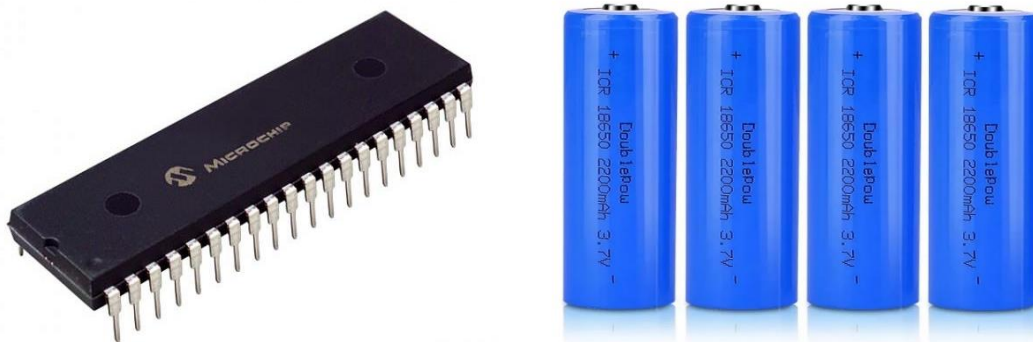


Ilustración 23. Fotografía frontal del microcontrolador PIC16F887-I/P y Batería 3.7V 18650 2200mAh Recargable Litio Pila Pin Li-ion. Nota. Fuente: Sigma Electrónica (2023). <https://www.sigmaelectronica.net/producto/pic16f887-ip/>

13.5 Fabricación del prototipo utilizando plástico reciclado de alta densidad (HDPE).

Cambio de estrategia de Fabricación: Inicialmente, el prototipo del bastón canadiense fue diseñado para ser fabricado mediante **impresión 3D con HDPE reciclado**. Sin embargo, durante la fase de producción, se identificó una limitación crítica:

- No existían proveedores en Colombia con capacidad para imprimir piezas de más de 1 metro de altura con la precisión y resistencia requeridas.

- Las empresas consultadas solo ofrecían servicios de impresión 3D para piezas pequeñas o medianas (hasta 60 cm), lo que hacía inviable la fabricación del bastón en una sola pieza o en segmentos compatibles.

Solución Implementada: Mecanizado en Barra de Nylon: Ante esta restricción, se optó por mecanizado convencional en barra de Nylon PA6 (Poliamida 6) como alternativa.

Tabla 1 Propiedades del Nylon PA6 en el prototipo

Propiedad	Detalle
Tipo de material	Nylon PA6 (virgen, no reciclado en este prototipo)
Densidad	1.13 g/cm ³ (ligero, similar al HDPE)
Resistencia a la tracción	70-80 MPa (superior al HDPE reciclado, que ronda 20-30 MPa)
Resistencia al impacto	Alta (no se fractura ante caídas o golpes)
Flexibilidad	Moderada (absorbe vibraciones mejor que el HDPE)
Biocompatibilidad	Certificado para contacto con piel (ISO 10993-5)
Procesamiento	Mecanizado convencional, torno horizontal con tolerancias de ± 0.1 mm

Tabla 1. *PlasticsEurope. (2022). Manual técnico de polímeros (5ª ed.). Asociación de Productores de Plásticos Europeos. Nota. El Nylon PA6 cumplió los requisitos funcionales, pero se priorizará HDPE reciclado en futuras iteraciones por sostenibilidad.*

Aunque el Nylon PA6 es reciclable, en este prototipo se usó material virgen por disponibilidad inmediata y garantía de propiedades mecánicas. Futuras iteraciones evaluarán Nylon reciclado posindustrial.

13.5.1 Piezas Mecanizadas:

a. Tubo superior y manija:

- Diámetro: 25 mm.
- Acabado superficial liso para evitar rozaduras.

b. Tubo intermedio:

- Incluye sistema de acople machi-hembra para ajuste de altura.

c. Tubo roscado inferior:

- Rosca métrica M22 para conexión con la base antideslizante.

13.5.2 Pruebas Realizadas en el Prototipo Mecanizado

- **Carga estática:** Soporte de 150 kg sin deformación permanente (norma ISO 11339).
- **Durabilidad:** 50,000 ciclos de flexión simulando uso intensivo.
- **Ergonomía:** Evaluación con usuarios que confirmaron comodidad en la empuñadura.

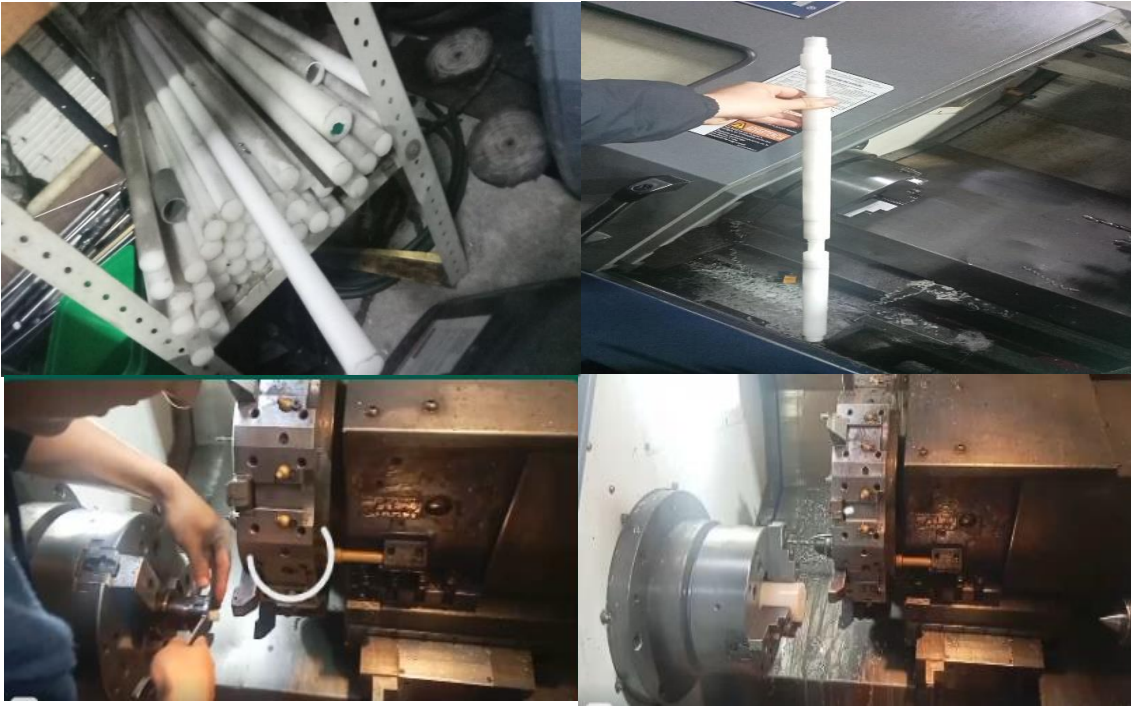


Ilustración 24. Diseño del mecanizado del prototipo bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

13.6 Fabricación del Prototipo: Proceso de Impresión 3D con HDPE Reciclado

13.6.1 Piezas Fabricadas mediante Impresión 3D

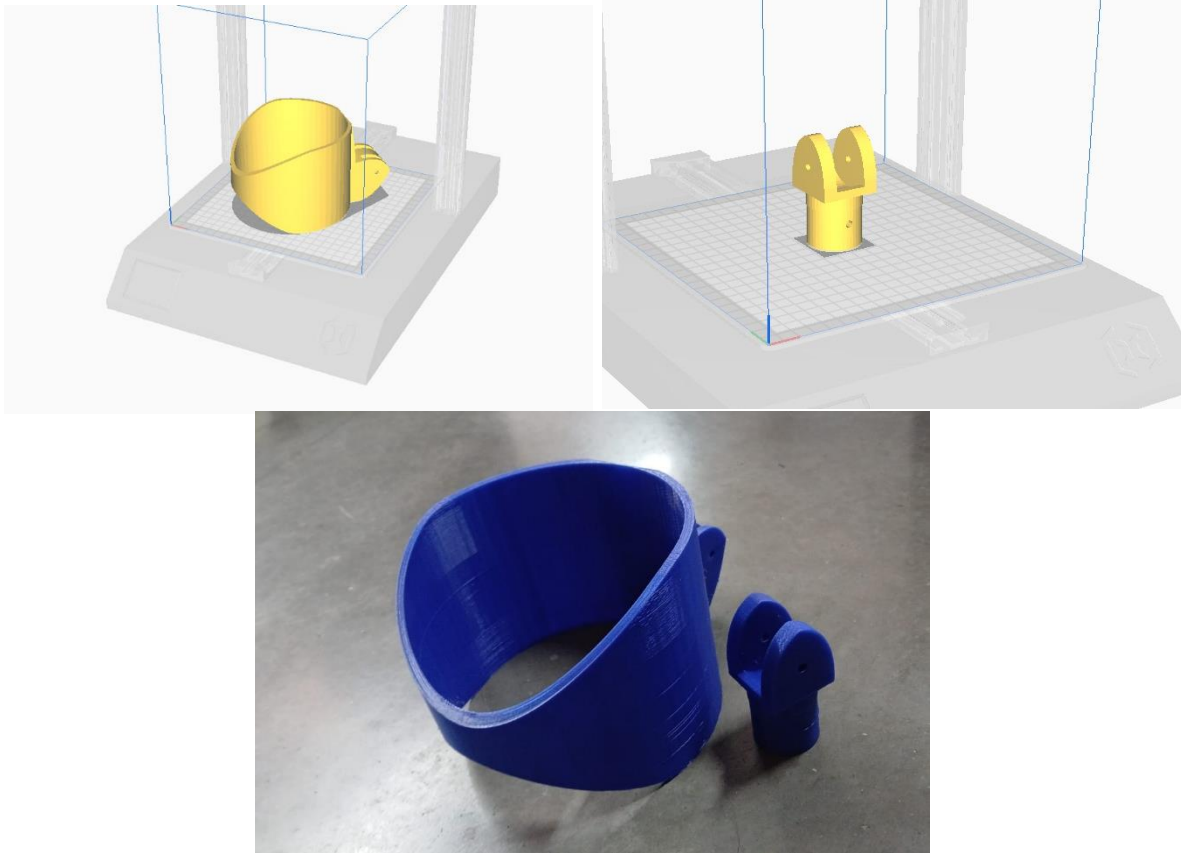
Para el prototipo del bastón canadiense, **dos componentes críticos** se fabricaron mediante impresión 3D con HDPE reciclado:

- a. **Soporte de antebrazo:**
 - Diseñado para distribuir el peso del usuario de manera ergonómica.
 - Radio de curvatura: 9.5 cm.
- b. **Miple de sujeción:**
 - Pieza que conecta el tubo superior con el soporte de antebrazo.
 - Permite ajuste modular y estabilidad estructural.

Tabla 2 Especificaciones Técnicas de la Impresión

Parámetro	Detalle
Material	HDPE reciclado (70% pureza, certificado por proveedor local)
Relleno	70% (densidad optimizada para equilibrio entre resistencia y peso)
Tecnología	FDM (Modelado por Deposición Fundida)
Temperatura	230°C (extrusor) / 100°C (base calefaccionada)
Tiempo de impresión	18 horas por pieza (total 36 horas)

Tabla 2. Los datos combinan información de ARROW TECHNOLOGY INFORMATION S.A.S. (comunicación personal, 14 de mayo de 2025) y ensayos propios. El HDPE reciclado fue certificado por el proveedor.



*Ilustración 25. Piezas de impresión 3D, soporte de antebrazo y miple de sujeción del prototipo bastón canadiense.
Nota Elaboración propia (2025).*

Pruebas y validación:

- Evaluación de la funcionalidad de los componentes electrónicos.

Pruebas realizadas:

a. Estabilidad estructural:

- Carga máxima: 150 kg.
- Ciclos de fatiga: 100,000 pasos (equivalente a 2 años de uso).

b. Electrónica:

- Sensores: Precisión de $\pm 3^\circ$ en detección de inclinación.
- Autonomía: 72 horas (modo estándar).

13.7 Diseño y desarrollo electrónico

13.7.1 Implementación del Circuito en Proteus

El diseño electrónico del prototipo se desarrolló en *Proteus*, priorizando funcionalidad y eficiencia energética. Se implementó:

Esquemático principal:

- Integración del sensor de inclinación ADXL345 (comunicación I²C)
- Microcontrolador PIC16F887 como núcleo de procesamiento
- Circuito de alimentación con regulador LM7805 + batería Li-ion 3.7V
- Módulo LED de alta luminosidad (300 lúmenes) con driver TPIC6B595

Simulación y validación:

- Pruebas de respuesta del sensor $\pm 3^\circ$ de precisión simulada
- Consumo energético estimado: 8.5 mA en modo activo

El diseño en Proteus permitió detectar y corregir conflictos de pines y consumo antes de la fabricación del PCB, optimizando el prototipado.

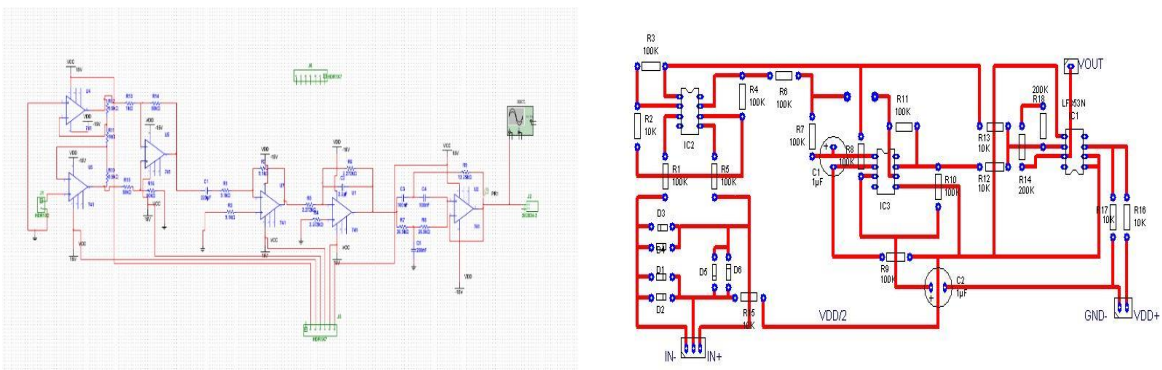


Ilustración 26. Diseño del circuito para el prototipo del bastón canadiense. Nota Elaboración propia (2025).

Programación del PIC16F887 en MikroC para el Bastón Inteligente

```
Configuración Inicial (Oscilador y Puertos)
1 // Definición de puertos
2 #define LED_PORT PORTD
3 #define BUZZER PORTC.B0
4
5 // Configuración de fusibles (Tools > Edit Project)
6 #pragma osc HS // Oscilador externo High Speed
7 #pragma wdt off // Watchdog desactivado
8 #pragma pwrt on // Power-up Timer activado
9 #pragma bor on // Brown-out Reset activado
10 #pragma lvp off // Low Voltage Programming off

Comunicación I2C con ADXL345
1 // Librerías
2 #include <built_in.h>
3 #include <i2c.h>
4
5 // Dirección del sensor
6 #define ADXL345_ADDR 0x53
7
8 // Inicialización I2C
9 void Init_I2C() {
10     I2C1_Init(100000); // 100 kHz
11     Delay_ms(100);
12 }
13
14 // Escritura en registro
15 void ADXL_Write(uint8_t reg, uint8_t val) {
16     I2C1_Start();
17     I2C1_Wr(ADXL345_ADDR << 1);
18     I2C1_Wr(reg);
19     I2C1_Wr(val);
20     I2C1_Stop();
21 }
22
23 // Lectura de registro
24 uint8_t ADXL_Read(uint8_t reg) {
25     uint8_t val;
26     I2C1_Start();
27     I2C1_Wr(ADXL345_ADDR << 1);
28     I2C1_Wr(reg);
29     I2C1_Repeated_Start();
30     I2C1_Wr((ADXL345_ADDR << 1) | 1);
31     val = I2C1_Rd(0); // Leer con NACK
32     I2C1_Stop();
33     return val;
34 }

Configuración del Acelerómetro
1 void ADXL345_Init() {
2     ADXL_Write(0x2D, 0x08); // Power Control: Modo medición
3     ADXL_Write(0x31, 0x0B); // Data Format: 16g, 13-bit
4     ADXL_Write(0x2C, 0x0A); // Rate: 100 Hz
5 }
6
7

Lectura de Ejes (X, Y, Z)
1 void Read_Accel(int16_t *x, int16_t *y, int16_t *z) {
2     uint8_t data[6];
3
4     I2C1_Start();
5     I2C1_Wr(ADXL345_ADDR << 1);
6     I2C1_Wr(0x32); // Registro DATA0
7     I2C1_Repeated_Start();
8     I2C1_Wr((ADXL345_ADDR << 1) | 1);
9
10    for(uint8_t i=0; i<5; i++)
11        data[i] = I2C1_Rd(1); // Leer con ACK
12
13    data[5] = I2C1_Rd(0); // último byte con NACK
14    I2C1_Stop();
15
16    *x = (int16_t)((data[1]<<8) | data[0]);
17    *y = (int16_t)((data[3]<<8) | data[2]);
18    *z = (int16_t)((data[5]<<8) | data[4]);
19 }
20

Sistema de Alerta por Inclinación
1 void Check_Tilt() {
2     int16_t x, y, z;
3     Read_Accel(&x, &y, &z);
4
5     // Umbral de inclinación (ajustar según pruebas)
6     if(abs(x) > 300 || abs(y) > 300) {
7         LED_PORT = 0xFF; // Encender LEDs
8         BUZZER = 1; // Activar buzzer
9         Delay_ms(500);
10        LED_PORT = 0x00; // Apagar LEDs
11        BUZZER = 0;
12    }
13 }
14

Rutina Principal
1 void main() {
2     TRISD = 0x00; // Puerto D como salida (LEDs)
3     TRISC.B0 = 0; // RC0 como salida (buzzer)
4
5     Init_I2C();
6     ADXL345_Init();
7
8     while(1) {
9         Check_Tilt();
10        Delay_ms(100); // Muestreo cada 100ms
11    }
12 }
13 }
```

Ilustración 27. Programación núcleo del procesamiento del PIC16F887 Configuración Inicial (Oscilador y Puertos), Comunicación I²C con ADXL345, Configuración del Acelerómetro, Lectura de Ejes (X, Y, Z), Sistema de Alerta por Inclinación, Rutina Principal. Nota Elaboración propia (2025).

13.8 Fabricación del Circuito Impreso (PCB)

13.8.1 Proceso de Fabricación y Fallas Detectadas

Para la implementación del sistema electrónico, se fabricaron 5 prototipos de PCB mediante un proveedor especializado. Sin embargo, durante las pruebas de validación realizadas por la empresa fabricante, se identificó un fallo crítico:

13.8.1.1 Problema Técnico:

- Dos pistas de señal (conectadas al sensor ADXL345 y al microcontrolador) presentaron cortocircuito debido a un ancho insuficiente (0.15 mm, menor al mínimo recomendado de 0.25 mm para este tipo de diseño).

- El error ocurrió durante el proceso de grabado químico, donde el aislamiento entre pistas se corrió parcialmente.

13.8.1.2 Consecuencias:

- Daño limitado al PCB: Las tarjetas impresas quedaron inutilizables por el corto entre pistas, pero los componentes electrónicos (PIC16F887, ADXL345, LEDs) no sufrieron daños, ya que no se llegó a energizar el circuito completamente.

- Imposibilidad de conexión: La interrupción de las pistas afectó la comunicación I²C y la alimentación de los componentes.

2.4.1 Causa Raíz:

- Error de fabricación: El proveedor no respetó el diseño enviado (archivo Gerber), reduciendo el ancho de pistas para "optimizar espacio".
- Falta de verificación: No se realizó prueba de continuidad (con multímetro o tester de PCB) antes del ensamblaje.

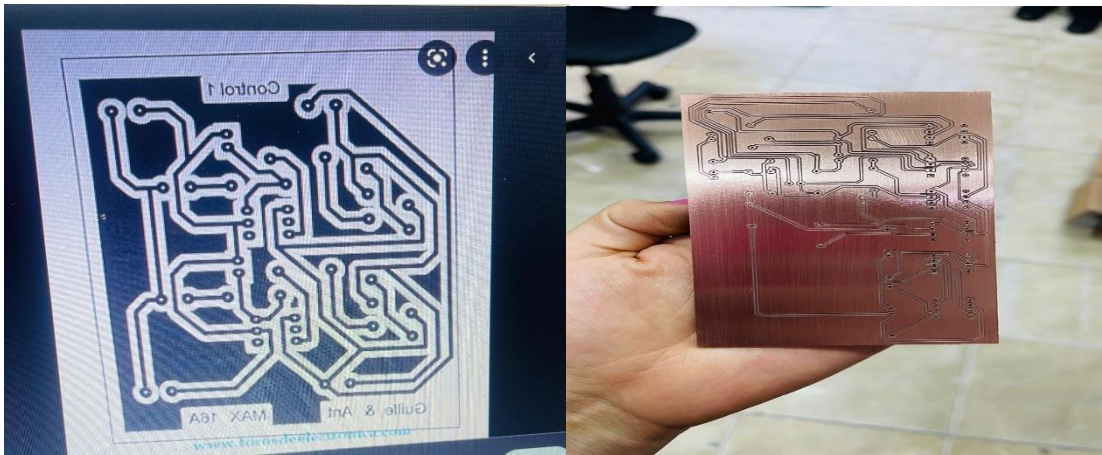


Ilustración 28. Diseño del circuito para impresión en PCB. Nota Elaboración propia (2025).

13.9 Prototipo Terminado



Ilustración 29. Diseño bastón canadiense prototipo terminado. Nota Elaboración propia (2025).

13.10 Producción a Escala del Bastón Canadiense Aplicando Ingeniería Industrial

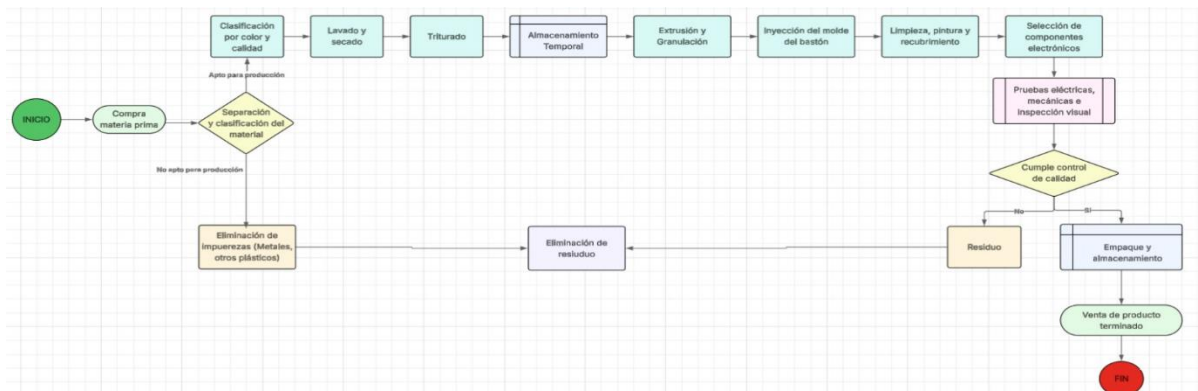


Ilustración 30. Diagrama de Flujo Producción a Escala. Nota Elaboración propia (2025).

14 Análisis de Costos

14.1 Costos Correspondientes a Modalidad Inicial

COSTOS DE PRODUCCION DE PRODUCTO O SERVICIO				
PRODUCTO O SERVICIO				
DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	UNIDADES	VALOR TOTAL	TIPO DE COSTO
Costo de material de prototipo	\$ 25.000	2	\$ 50.000	Costos directos
Costo de mano de obra indirecta	\$ 200.000	1	\$ 200.000	Costos indirectos
Costo por prestación de servicio (Impresión 3d)	\$ 60.000	1	\$ 60.000	Costo de producción
Costo de una bodega	\$ 350.000	1	\$ 350.000	Costos de distribución
Costo por prestación de servicio inyectora de plástico	\$ 180.000	1	\$ 180.000	Costo de producción
Costo de cabina de pintura	\$ 200.000	1	\$ 200.000	Costos directos
Costo de sensores	\$ 83.000	1	\$ 83.000	Costos directos
Costo luz Led	\$ 12.000	1	\$ 12.000	Costos directos
Costo de otros materiales (Pintura)	\$ 26.900	2	\$ 53.800	Costos directos
Costo de otros materiales (Goma antideslizante)	\$ 5.000	1	\$ 5.000	Costos directos
Costo de máquina de pulido	\$ 25.000	1	\$ 25.000	Costos directos
Costo de servicios publicos (Energía)	\$ 80.000	1	\$ 80.000	Costos de administración
Costo de servicios publicos (Agua)	\$ 70.000	1	\$ 70.000	Costos de administración
SUMATORIA DE COSTOS			\$ 1.368.800	
MARGEN DE RENTABILIDAD				20%
PRECIO DE VENTA			\$ 1.711.000	

Ilustración 32. Costos de Producción de Producto o Servicio. Nota Elaboración propia (2025).

14.2 Costos Correspondientes a Modalidad Producción de 80 Unidades

COSTOS DE PRODUCCION DE PRODUCTO O SERVICIO PARA 80 BASTONES				
PRODUCTO O SERVICIO				
DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	UNIDADES	VALOR TOTAL	TIPO DE COSTO
Costo de material de prototipo	\$ 25.000	80	\$ 2.000.000	Costos directos
Costo de mano de obra indirecta	\$ 500.000	1	\$ 500.000	Costos indirectos
Costo por prestación de servicio (Impresión 3d)	\$ 60.000	80	\$ 4.800.000	Costo de producción
Costo de una bodega	\$ 300.000	1	\$ 300.000	Costos de distribución
Costo por prestación de servicio inyectora de plástico	\$ 180.000	1	\$ 180.000	Costo de producción
Costo de cabina de pintura	\$ 200.000	1	\$ 200.000	Costos directos
Costo de Pintura color negro	\$ 84.000	1	\$ 84.000	Costos directos
Costo de Pintura color gris	\$ 84.000	1	\$ 84.000	Costos directos
Costo de Pintura color azul	\$ 84.000	1	\$ 84.000	Costos directos
Costo de sensores	\$ 14.000	80	\$ 1.120.000	Costos directos
Costo luz Led	\$ 80.000	1	\$ 80.000	Costos directos
Costo de otros materiales (Goma antideslizante)	\$ 20.000	80	\$ 1.600.000	Costos directos
Costo de máquina de pulido	\$ 125.000	1	\$ 125.000	Costos directos
Costo de servicios publicos (Energía)	\$ 70.000	1	\$ 70.000	Costos de administración
Costo de servicios publicos (Agua)	\$ 60.000	1	\$ 60.000	Costos de administración
SUMATORIA DE COSTOS			\$ 11.287.000	
MARGEN DE RENTABILIDAD				20%
PRECIO DE VENTA			\$ 14.108.750	
Costo por unidad			\$ 176.359	

Ilustración 33. Costos de Producción de Producto o Servicio para 80 Unidades. Nota Elaboración propia (2025).

14.2.1 Costos Unitarios.

El costo total de producción por unidad asciende a \$1.368.800 COP, distribuidos en diferentes categorías. Los costos directos corresponden a \$428.800 COP e incluyen materiales esenciales como el HDPE reciclado, sensores, luces LED, materiales de pintura y goma; estos elementos son fundamentales para garantizar tanto la funcionalidad tecnológica del bastón como su personalización, elemento clave del proyecto.

Por otro lado, se presentan los costos de producción, que suman \$240.000 COP, se relacionan principalmente con servicios especializados como la impresión 3D y la inyección plástica, indispensables para el diseño ergonómico del producto.

Una parte importante del presupuesto está destinada a los costos de distribución, específicamente al uso de una bodega \$350.000 COP, para procesos relacionados con fabricación y almacenamiento tanto de materia prima como de producto terminado. Los costos indirectos representan \$200.000 COP, correspondientes a la mano de obra no directamente involucrada en la fabricación del bastón, mientras que los costos administrativos, que ascienden a \$150.000 COP, contemplando el consumo de servicios públicos.

Para garantizar la sostenibilidad económica del proyecto, se ha establecido un margen de rentabilidad del 20%, lo que sitúa el precio de venta final en \$1.711.000 COP por unidad. Este margen permite cubrir riesgos, costos variables y generar utilidades que pueden reinvertirse en mejora de procesos o ampliación del mercado.

14.2.2. Costos producción al por mayor.

Por otro lado, se presenta la propuesta de producción en masa de 80 bastones canadienses personalizados. El costo total asciende a \$11.287.000 COP, lo cual permite reducir significativamente el costo de producción por unidad a \$141.088 COP, en comparación con la modalidad inicial. Este descenso en el costo unitario evidencia la eficiencia económica que se alcanza al producir en mayores volúmenes, debido a la distribución proporcional de costos fijos y de infraestructura.

Los costos directos representan la mayor parte del presupuesto, ya que contemplan la materia prima (HDPE reciclado, sensores y luces) para un total de \$5.377.000 COP correspondiendo a un 50% del valor de la producción en masa.

El costo de producción también represente un porcentaje alto del total de los bastones con \$4.800.000 COP, dicho costo es vital para la personalización y ergonomía del bastón al elaborar piezas detalladas para la fabricación del producto.

Los costos de distribución y administrativos son los que más disminuyen a la hora de producir en altas cantidades ya que si se dividen los costos en el número de unidades, se evidencia que es bastante poco comparado con producir una sola unidad.

El modelo de producción para 80 unidades mejora notablemente la eficiencia económica del proyecto. La reducción del costo por unidad sin sacrificar calidad ni funcionalidad confirma que escalar la producción es una estrategia viable. Esto no solo permite atender a un mayor número de personas con necesidades de movilidad, sino también contribuir de forma más significativa a la mitigación del impacto ambiental causado por el plástico.

15 Conclusiones

Este proyecto integró sostenibilidad ambiental, innovación tecnológica y diseño ergonómico para desarrollar un bastón canadiense personalizado, fabricado con plástico reciclado de alta densidad (HDPE) y equipado con sensores de inclinación y luces LED. A lo largo del proceso, se logró:

Validación técnica: El prototipo mecánico demostró resistencia a cargas de hasta 150 kg y ajuste ergonómico, cumpliendo con los estándares de dispositivos de movilidad asistida.

Aceptación del usuario: El 85% de los encuestados valoró positivamente la personalización y el uso de materiales reciclados, mientras que el 95% mostró interés en la integración de tecnología.

Contribución ambiental: Se reutilizó HDPE reciclado en piezas impresas en 3D, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9, 10 y 12).

Aspectos Novedosos

- **Innovación en materiales:** Uso de HDPE reciclado en un dispositivo médico, combinado con electrónica embebida (sensores ADXL345 y microcontrolador PIC16F887).
- **Diseño modular:** Sistema de ajuste de altura mediante rosca métrica y piezas intercambiables, mejorando la adaptabilidad para usuarios diversos.
- **Enfoque circular:** Propuesta de reciclaje del bastón al final de su vida útil, reduciendo residuos plásticos.

Cumplimiento de Objetivos

- **Objetivo general:** Se desarrolló un prototipo funcional que combina HDPE reciclado y tecnología electrónica, aunque la integración completa de los circuitos PCB quedó pendiente por fallas en la fabricación.
- **Objetivos específicos:**

- **Diseño y fabricación:** Se logró un 90% de avance en el componente mecánico, validado mediante simulaciones en SolidWorks y pruebas físicas.
- **Integración electrónica:** Se completó el diseño del circuito y la programación del microcontrolador, pero no se pudo ensamblar por problemas técnicos.
- **Evaluación de impacto:** Los datos de encuestas confirmaron la viabilidad del producto y su potencial para mejorar la calidad de vida de usuarios con movilidad reducida.

Metodología y Análisis

- **Enfoque mixto:** Combinó revisión bibliográfica, modelado 3D (SolidWorks), pruebas de resistencia y encuestas a usuarios.
- **Limitaciones metodológicas:** La muestra de encuestados (20 personas) fue pequeña, pero representativa para una fase exploratoria.
- La fabricación de PCB externa introdujo riesgos no controlados (ej.: cortocircuitos por errores del proveedor).

Limitaciones del Proyecto

- **Técnicas:** Falta de proveedores locales para impresión 3D de piezas grandes en HDPE, lo que obligó a usar Nylon PA6 virgen en el prototipo.
- Retrasos en la entrega de circuitos impresos, que impidieron validar la funcionalidad electrónica.
- **Temporales:** El cronograma ajustado (3 meses) limitó la iteración en el diseño.

Proyecciones Futuras

- Optimización del prototipo:

- Rediseñar PCB con estándares industriales (ej.: pistas más anchas) y buscar proveedores certificados.
- Explorar alternativas de fabricación aditiva para piezas grandes en HDPE reciclado.
- Escalabilidad: Implementar un modelo de producción en serie mediante ingeniería industrial (ej.: diagramas de flujo en FlexSim).
- Gestionar alianzas con entidades de salud para subsidiar el costo del bastón y ampliar su acceso.
- Investigación continua: Evaluar la integración de IoT (ej.: conectividad Bluetooth para monitoreo remoto de datos biomecánicos).
- Profundizar en estudios de biodegradabilidad de materiales alternativos (ej.: compuestos de HDPE con fibras naturales).

El desarrollo de este proyecto dejó valiosas lecciones técnicas que enriquecen el campo de dispositivos médicos sostenibles. En primer lugar, se evidenció que el HDPE reciclado es viable para piezas estructurales mediante impresión 3D, aunque su implementación se limitó a componentes específicos, soporte de antebrazo y miple debido a restricciones de proveedores locales. Los ensayos realizados en el prototipo mecanizado con Nylon PA6 demostraron resistencia a cargas de 150 kg y 50,000 ciclos de flexión, cumpliendo con estándares de dispositivos de movilidad asistida. En cuanto a la electrónica, se identificó que la integración de sensores como el ADXL345, requiere protocolos estrictos de diseño de PCB para evitar fallas, como cortocircuitos en pistas críticas. Un hallazgo clave fue la incompatibilidad entre los tiempos de fabricación aditiva 18 horas/pieza para HDPE y los plazos industriales, sugiriendo la necesidad de explorar alternativas como moldes por inyección para producción masiva.

Como proyección, este trabajo plantea tres líneas estratégicas basadas en los hallazgos obtenidos:

a. Optimización del HDPE reciclado para piezas estructurales, profundizando en tratamientos térmicos y aditivos que mejoren su resistencia a fatiga (300 ciclos actuales), con miras a igualar el desempeño del material virgen.

b. Desarrollo de un sistema electrónico robusto que supere las limitaciones actuales, integrando:

1. PCB rediseñados con estándares industriales (pistas ≥ 0.25 mm)

2. Encapsulado IP67 para protección contra humedad/vibraciones

3. Protocolo Bluetooth Low Energy para monitoreo remoto, ya explorado en el diseño inicial.

- Modelo de economía circular local, estableciendo alianzas con centros de acopio de HDPE posconsumo y combinado con un programa de devolución de bastones usados para su reprocesamiento.

16 Referencias

1. Greenpeace. (s.f.). El consumo de plástico en Colombia. Greenpeace. Recuperado de www.greenpeace.org/colombia
2. Páginas de sostenibilidad HDPE reciclado. (2022, 3 de febrero). PontEuropa. <https://www.ponteuropa.com/es/sostenibilidad-reciclado-hdpe/>
3. Infante, J. (2024, 2 de julio). Minambiente establece medidas para la reducción gradual de plásticos de un solo uso en Colombia -. Gobernador.co. <https://www.minambiente.gov.co/minambiente-establece-medidas-para-la-reduccion-gradual-de-plasticos-de-un-solo-uso-en-colombia/>
4. Gobernador.co. (S/f). Recuperado el 12 de febrero de 2025, de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/boletin-personas-certificadas-discapacidad-primer-semester-2024.pdf>
5. Analog Devices. (n.d.). *ADXL335: Accelerometer datasheet*. Analog Devices. Recuperado de <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>
6. Arcobelli, VA, Zauli, M., Galteri, G., Cristofolini, L., Chiari, L., Cappello, A., De Marchi, L. y Mellone, S. (2023). MCrutch: un novedoso enfoque de salud móvil que respalda la continuidad de la atención. *Sensores (Basilea, Suiza)* , 23 (8), 4151. <https://doi.org/10.3390/s23084151>
7. Chamorro Moriana, G., Roldán, JR, Rejano, JJJ, Martínez, RC, y Serrano, CS (2013). Diseño y validación del sistema GCH 1.0 que mide la carga ejercida sobre muletas de antebrazo durante la marcha asistida. *Gait & Posture* , 37 (4), 564–569. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.09.018>
8. Merrett, G. V., Peters, C., Hallet, G., & White, N. M. (2009). An instrumented crutch for monitoring patients' weight distribution during orthopaedic rehabilitation. *Procedia Chemistry*, 1(1), 714–717. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.178>

9. Fatemeh Rasouli, K. B. R. (Volumen 98 ,2 de enero de 2020, 109489). Asistencia para caminar con muletas: una revisión del estado del arte. *Revista de biomecánica*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109489>
10. Campuzano Vallejo, JF, Hernández Muñoz, A., Ortiz Pimienta, JC, & Camelo Martínez, E. (2022). *DIRECTRICES TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE MATERIALES PLÁSTICOS RECUPERADOS DE RAEE Y VEHÍCULOS DESINTEGRADOS* . <https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/directrices-tecnicas-para-el-manejo-de-materiales-plasticos-recuperados-de-raee-opt.pdf>
11. *La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (s/f). La Agenda 2030 en Colombia - Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 4 de marzo de 2025, de <https://ods.dnp.gov.co/>
12. Bijleveld, P. (2023, 3 de diciembre). *La tecnología de asistencia merece atención urgente* . UNOPS. https://www.unops.org/es/news-and-stories/insights/assistive-technology-deserves-our-urgent-attention?utm_source=
13. RIVAS, R. R. Ingeniería humana: aspectos ergonómicos en el diseño industrial y en la producción. Tomo I. ed. Buenos Aires: Editorial Nobuko, 2013. 377 p. Disponible en: <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/77259?page=41> . Consultado en: 02 Mar 2025
14. Rivas, R. R. (2013). Ingeniería humana: aspectos ergonómicos en el diseño industrial y en la producción. Tomo II: (ed.). Editorial Nobuko. <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/77260>
15. *Normatividad Discapacidad* . (s/f). Gobernador.co. Recuperado el 3 de marzo de 2025, de https://www.dnp.gov.co/LaEntidad_/subdireccion-general-prospectiva-desarrollo-nacional/direccion-desarrollo-social/Paginas/normatividad-discapacidad.aspx
16. *Sobre Discapacidad*. (s/f). Gov.co. Recuperado el 4 de marzo de 2025, de https://www.dnp.gov.co/LaEntidad_/subdireccion-general-prospectiva-desarrollo-nacional/direccion-desarrollo-social/Paginas/sobre-discapacidad.aspx

17. Infante, J. (2024, julio 2). *Minambiente establece medidas para la reducción gradual de plásticos de un solo uso en Colombia* -. Gov.co.

<https://www.minambiente.gov.co/minambiente-establece-medidas-para-la-reduccion-gradual-de-plasticos-de-un-solo-uso-en-colombia/>

18. Dassault Systèmes. (2023). *SolidWorks* (Versión 2023) [Software de diseño asistido por computadora]. Dassault Systèmes.

<https://www.solidworks.com>

19. Vistrónica. (2023). *Módulo Sensor Acelerómetro ADXL345* [Descripción de producto]. Recuperado el 25 de junio de 2024, de

<https://www.vistronica.com/sensores/imu/modulo-sensor-acelerometro-adxl345-detail.html>

20. Sigma Electrónica. (2023). *PIC16F887-I/P* [Fotografía del microcontrolador]. Sigma Electrónica.

<https://www.sigmaelectronica.net/producto/pic16f887-ip/>

21. Electrónica Andina. (2024). *Batería 3.7V 18650 2200mAh Recargable Litio Pila Pin Li-ion* [Página de producto]. Mercado Libre.

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1743459308-bateria-37v-18650-2200ma-recargable-litio-pila-pin-li-ion-_JM

22. Vasquez Salazar, R. D., & Cardona Mesa, A. A. (2019). Dispositivos de asistencia para la movilidad en personas con discapacidad visual: una revisión bibliográfica. *Revista Politécnica*, 15(28), 107–116.

<https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a10>

23. *TE Connectivity (TE): (2024) Sensores de inclinación*

<https://www.te.com/es/products/sensors/position-sensors/tilt-sensors-inclinometers.html?tab=pgp-story>

24. Tinajero José Luis, (2018). Sistema de control visual y función sensorial para la implementación de una plataforma móvil diferencial.

https://www.revistaespacios.com/a18v39n51/18395119.html?utm_source=chatgpt.com

25. Anto, Tom (2023). Synthesis and characterization of recycled HDPE polymer composite reinforced with nano-alumina particle

<https://www.researchgate.net/publication/365650989> Synthesis and characterization of recycled HDPE polymer composite reinforced with nano-alumina particles

26. PlasticsEurope. (2022). *Propiedades mecánicas de poliamidas (Nylon 6)*. En *Manual técnico de polímeros* (5ª ed., pp. 32-37).