

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE SOFTWARE

Tema:

APLICACIÓN MULTIPLATAFORMA PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DEL SECTOR DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Software

ÁREA: Desarrollo de software

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Software, Tecnologías de la información y Ciencia de datos

AUTOR: Katerin Rocio Cecen Rubio

TUTOR: Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres, Mg

Ambato - Ecuador

julio-2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: APLICACIÓN MULTIPLATAFORMA PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DEL SECTOR DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por la señorita Katerin Rocio Cecen Rubio estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que la estudiante ha sido tutorada durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, julio 2025

Firmado electrónicamente por:
OSCAR FERNANDO IBARRA TORRES
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: APLICACIÓN MULTIPLATAFORMA PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DEL SECTOR DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2025



Katerin Rocio Cecen Rubio

C.C. 0503966749

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, julio 2025



Katerin Rocio Cecen Rubio

C.C. 0503966749

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por la señorita Katerin Rocio Cecen Rubio, estudiante de la Carrera de Software, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado APLICACIÓN MULTIPLATAFORMA PARA EL TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DEL SECTOR DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS., nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, julio 2025

Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN OSWALDO MAYORGA MAYORGA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Franklin Mayorga Mayorga, Mg.

PRESIDENTE DELTRIBUNAL

Firmado electrónicamente por:
CARLOS ISRAEL NUNEZ MIRANDA
Validar únicamente con FirmaEC

Ing. Carlos Núñez Miranda, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

Santiago David Jara Moya
Time Stamping Security Data

Ing. Santiago Jara Moya, Mg
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mi mamá Guadalupe Rubio, mi fuerza y ejemplo constante, gracias por tu apoyo incondicional y por enseñarme a nunca rendirme.
A mi hermano Anthony, mi compañero de vida, por ser mi refugio y motivación en los momentos difíciles.
A mis primas Gaury, Evelyn y Anthonella, mis hermanas del alma, por caminar siempre a mi lado en cada paso.
A mi abuelita, cuyo amor y sabiduría han sido mi guía y bendición.
A mi mejor amiga Belén C, por su amistad sincera y sus palabras que me levantaron cuando más lo necesitaba.
Y a mis amigos de la universidad, por compartir risas, retos y sueños, y ser parte fundamental de esta etapa.

A toda mi familia, gracias por ser mi inspiración y sostén. Este logro es tan suyo como mío.

Katerin

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional en cada paso del camino.

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, por abrirme las puertas al conocimiento.

A los docentes que formaron parte de mi proceso académico, gracias por compartir su experiencia y dedicación.

Y en especial, al ***Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres, Mg.****, por su valiosa guía y acompañamiento en el desarrollo de este trabajo.*

Katerin

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA ..... **i**

APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**

AUTORÍA ..... **iii**

DERECHOS DE AUTOR ..... **iv**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS ..... **viii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xi**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xii**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xv**

RESUMEN EJECUTIVO ..... **xvi**

ABSTRACT ..... **xvii**

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **1**

1.1 Tema de investigación 1

1.1.1 Planteamiento del problema 1

1.2 Antecedentes investigativos 2

1.3 Fundamentación teórica 6

1.3.1 Frameworks de desarrollo 7

1.3.2 Sistemas de Gestión de Información (SGI) 8

1.3.3 Gestores de Base de Datos 9

1.3.4 Arquitectura 10

1.3.5 Metodología 11

1.3.6 Alojamiento Web 13

1.3.7 Que es RAEE? 14

1.4 Objetivos 14

1.4.1 Objetivo general 14

1.4.2 Objetivos específicos 14

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA 15

2.1 Materiales 15

2.2 Métodos 16

2.2.1 Modalidad de la investigación 17

2.2.2 Población y muestra 17

2.2.3 Recolección de información 19

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos 20

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 21

3.1 Problemas en la Gestión de Información de RAEE 21

3.1.1 Principales Problemas Identificados 21

3.2 Análisis de Tecnologías 22

3.2.1 Metodologías de Desarrollo 22

3.2.2 Frameworks 24

3.2.3 Bases de Datos 28

3.2.4 Arquitectura 29

3.2.5 Desarrollo del sistema de gestión de información 30

3.3 Evaluación de resultados del sistema 76

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 94

4.1 Conclusiones 94

4.2 Recomendaciones 96

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97

ANEXOS 101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de Metodologías 23

Tabla 2. Comparación Frameworks 25

Tabla 3. Evaluación 27

Tabla 4. Comparación Gestores de BD 28

Tabla 5. Personas Involucradas 35

Tabla 6. Descripción de títulos de requerimientos 35

Tabla 7. Requerimientos Funcionales 36

Tabla 8. Requerimientos No Funcionales 37

Tabla 9. Historia de Usuario (Gestión de Usuario) 38

Tabla 10. Historia de Usuario (Registro RAEE) 39

Tabla 11. Historia de Usuario (Gestión de Empresas) 40

Tabla 12. Historia de Usuario (Interfaz) 41

Tabla 13. Datos de Respuesta 84

Tabla 14. Resultado UMUX 87

Tabla 15. Comparación Método Tradicional vs Proceso Actual 89

Tabla 16. Registro 89

Tabla 17. Generación de Reportes 90

Tabla 18. Accesibilidad 92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Kanban Tablero Ejemplo 24

Figura 2. Arquitectura MVT 29

Figura 3. .Tablero Kanban Inicial 32

Figura 4. Tablero Kanban (Proceso en Desarrollo) 33

Figura 5. Desarrollo 34

Figura 6. Proceso de recolección y registro Raee 42

Figura 7. Diagrama de Secuencia Admin 43

Figura 8. Diagrama de Secuencia User 44

Figura 9. Diagrama de Casos de uso 45

Figura 10. Diagrama de Caso de Uso Login 46

Figura 11. Diagrama de Caso de Uso Gestión RAEE 47

Figura 12. Diagrama de Caso de Uso Gestión Empresa 48

Figura 13. Diagrama de Caso de Uso Actividad Económica 49

Figura 14. Diagrama Caso de Uso Categoria 50

Figura 15. Diagrama DB 51

Figura 16. Prototipo No Funcional Login 54

Figura 17. Prototipo No Funcional Dashboard 55

Figura 18. Prototipo No Funcional Tabla Visual 56

Figura 19. Prototipo Funcional CRUD 58

Figura 20. Tablero Kanban Fase Final 60

Figura 21. Control de Accesos 63

Figura 22. Encriptado 63

Figura 23. Plantilla 65

Figura 24. Sistema Final Login Móvil 67

Figura 25. Sistema Final Login Web 68

Figura 26. Sistema Final Menú 69

Figura 27. Sistema Final formulario sistema 70

Figura 28. Sistema Final formulario sistema 71

Figura 29. Sistema Final formulario sistema 72

Figura 30. TestCase 73

Figura 31. Client 74

Figura 32. Migraciones 74

Figura 33. Instalación de entorno para pruebas 74

Figura 34. Archivo para generar pruebas 75

Figura 35. Prueba unitaria 75

Figura 36. Ejecución de prueba 76

Figura 37. ¿El sistema es fácil de usar? 78

Figura 38. La interfaz es clara y amigable 79

Figura 39. Pregunta 3. El sistema permite registrar fácilmente los RAEE? 79

Figura 40. Pregunta 4. ¿La información ingresada se almacena correctamente? 80

Figura 41. ¿El sistema tiene buena velocidad de respuesta ? 81

Figura 42. Pregunta 6. ¿Estoy satisfecho/a con el sistema en general? 82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Encuesta Inicial..... 101

Anexo B. Alpha de Cronbach 102

Anexo C. Levantamiento de Requerimientos Norma IEE 830 103

Anexo D. Reuniones. 107

Anexo E. Manual de Usuario 108

Anexo F. Encuesta de Usabilidad 115

Anexo G. Norma **ISO/IEC** 25010:2023 121

RESUMEN EJECUTIVO

Ecuador enfrenta un desafío crítico en la gestión de residuos electrónicos, careciendo de un sistema nacional para el registro preciso de RAEE recolectados, tratados y reciclados. Esta deficiencia obstaculiza la trazabilidad y manejo eficiente, impidiendo procesos adecuados de identificación, recolección y reciclaje. La infraestructura inadecuada impide la recuperación de materiales valiosos, mientras empresas y consumidores carecen de información sobre el desecho correcto, provocando acumulación en vertederos.

Esta investigación implementa un sistema de gestión de información multiplataforma para mejorar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE en instituciones del proyecto I+D+i 2024 DIDE-UTA en el Cantón Ambato.

Se adoptó una metodología cuantitativa con enfoque aplicado, combinando investigación bibliográfica y de campo. El estudio involucró personal de la Universidad Técnica de Ambato, Municipio del Cantón Ambato e Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. La recolección empleó encuestas estructuradas con escalas de Likert para capturar percepciones sobre trazabilidad de RAEE, accesibilidad del sistema y barreras técnicas.

La solución integra modelado UML, frameworks multiplataforma y gestión de bases de datos para crear un sistema que permite registro, clasificación y generación de reportes de RAEE. El sistema promueve principios de economía circular adaptados al contexto ecuatoriano, optimizando la recuperación de recursos y minimizando el impacto ambiental. La implementación mejora la sostenibilidad y eficiencia operativa en la gestión de RAEE del Cantón Ambato, contribuyendo a los objetivos ambientales nacionales.

Palabras claves: Gestión de residuos electrónicos, aplicación multiplataforma, economía circular, sistemas de información, trazabilidad, Ecuador.

ABSTRACT

Ecuador faces a critical challenge in electronic waste management, lacking a national system for accurate registration of collected, treated, and recycled WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment). This deficiency hinders traceability and efficient management, preventing adequate identification, collection, and recycling processes. Inadequate infrastructure prevents efficient recovery of valuable materials, while companies and consumers lack information about proper disposal, causing accumulation in landfills.

This research implements a multiplatform information management system to improve traceability and efficiency in WEEE management within institutions affiliated with the I+D+i 2024 DIDE-UTA project in Ambato Canton.

A quantitative methodology with applied approach was adopted, combining bibliographic and field research. The study involved personnel from Universidad Técnica de Ambato, Ambato Canton Municipality, and Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Data collection employed structured surveys with Likert scales to capture perceptions about WEEE traceability, system accessibility, and technical implementation barriers.

The solution integrates UML modeling, multiplatform frameworks, and database management to create a system enabling WEEE registration, classification, and report generation. The system promotes circular economy principles adapted to the Ecuadorian context, optimizing resource recovery and minimizing environmental impact. Implementation improves sustainability and operational efficiency in WEEE management within Ambato Canton, contributing to Ecuador's environmental objectives.

Keywords: Electronic waste management, multiplatform application, circular economy, information systems, traceability, Ecuador.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

Aplicación multiplataforma para el tratamiento de información de la economía circular del sector de aparatos eléctricos y electrónicos.

1.1.1 Planteamiento del problema

La creciente producción y consumo de aparatos eléctricos y electrónicos ha llevado a un aumento significativo en la generación de residuos, conocidos como RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos). Este fenómeno se ha convertido en un desafío ambiental a nivel mundial, ya que la mala gestión de estos desechos contribuye a la contaminación del suelo y del agua, además de representar una pérdida de valiosos recursos reciclables. En 2020, se generaron aproximadamente 53.6 millones de toneladas de residuos electrónicos a nivel mundial, y solo el 17.4% de estos fue gestionado adecuadamente mediante reciclaje formal y otras prácticas sostenibles [1].

El análisis de la gestión de RAEE revela varios aspectos críticos que requieren atención. La falta de infraestructura para la recolección y clasificación de residuos electrónicos impide que los materiales valiosos sean recuperados de manera eficiente, y tanto empresas como consumidores carecen de información sobre el desecho correcto de aparatos electrónicos, lo que conlleva su acumulación en vertederos. Estas deficiencias destacan la necesidad de desarrollar sistemas de gestión de información que integren la trazabilidad y el seguimiento de dispositivos a lo largo de su ciclo de vida.

La implementación de un sistema de gestión de información permite registrar y rastrear de manera eficaz el estado y la ubicación de los aparatos eléctricos y electrónicos desde el momento en que son recolectados. Esto facilita decisiones informadas para la reutilización y reciclaje de dispositivos, mejorando la eficiencia en la gestión de residuos y fomentando la economía circular [2].

La situación en Ecuador es particularmente crítica, ya que el país carece de un sistema nacional de gestión de información para registrar de manera precisa los RAEE recolectados, tratados y reciclados Para hacer frente a esta problemática, es fundamental adoptar enfoques que promuevan la reutilización, el reciclaje y la reducción de RAEE, alineándose con modelos de economía circular. La falta de un sistema de gestión de información adecuado impide la trazabilidad y el manejo eficiente de los residuos electrónicos en el país, obstaculizando la identificación, recolección, clasificación, reciclaje y reutilización de estos.

1.2 Antecedentes investigativos

La revisión literaria para este estudio se llevó a cabo utilizando cuatro bases de datos científicas: Google Scholar, IEEE Xplore, Science Direct y Taylor & Francis. Se crearon cadenas de búsqueda enfocadas en el tema de estudio, incorporando sinónimos, con el fin de optimizar la recopilación de información relevante.

En [3], se desarrolla una aplicación web/móvil para automatizar el proceso de titulación en una facultad universitaria, mejorando la eficiencia mediante la asignación de roles y una base de datos relacional en .NET Framework y ASP.NET, con soporte multiplataforma en Ionic para dispositivos móviles. La aplicación permite a estudiantes, tutores y personal administrativo gestionar y consultar de forma ágil el estado de solicitudes y resoluciones en modalidades de titulación como Examen Complexivo, Proyecto de Investigación y Artículo Académico, reemplazando así los registros manuales que anteriormente provocaban problemas de organización y pérdida de documentos. Para adaptarse a la naturaleza cambiante de los requerimientos, se aplicó el modelo de Programación Extrema (XP), permitiendo ajustes rápidos y corrección de errores en cada fase del desarrollo, mientras que Ionic aportó plantillas adaptativas y componentes específicos para Android e iOS, reduciendo el tiempo de implementación.

La plataforma electrónica de gestión de RAEE en [4] desarrollada por el Ministerio para la Transición Ecológica de España actúa como una única base de datos sobre recogida y tratamiento de residuos electrónicos. Esta plataforma garantiza el control y trazabilidad de los RAEE mediante la alimentación de datos por operadores y gestores

autorizados. El sistema optimiza el esfuerzo de los operadores y evita distorsiones generadas por la multiplicidad de plataformas. En el contexto latinoamericano, la Guía Técnica para la Gestión Integral de los RAEE 2023 de PREAL ofrece marcos metodológicos específicos. Esta guía evidencia la necesidad regional de adoptar tecnologías de información para optimizar los procesos de gestión. Los países de América Latina enfrentan desafíos particulares debido a la limitada infraestructura tecnológica disponible. La implementación de plataformas digitales especializadas se presenta como una solución viable para superar estas limitaciones. Estas experiencias demuestran la factibilidad técnica de implementar sistemas digitales especializados para la gestión integral de residuos electrónicos [5].

En [6], se describe el desarrollo de una aplicación web para optimizar la gestión de la información en el departamento comercial de la UEB Eléctrica Guisa. Se desarrolló un sistema basado en tecnologías libres y multiplataforma, empleando HTML5, CSS3, JavaScript, PHP y el patrón de arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC) con el framework CodeIgniter. El software fue guiado por la metodología XP, con Apache como servidor web y MySQL para la gestión de la base de datos. El sistema permite una gestión más eficiente y facilita el seguimiento de las solicitudes de los clientes, cumpliendo con los requisitos funcionales y no funcionales establecidos, como el rendimiento, la seguridad y la portabilidad. Las pruebas de aceptación confirmaron que el sistema satisface las expectativas del cliente, mejorando la eficiencia en la gestión de datos comerciales [7] y ofreciendo una interfaz amigable y fácil de usar.

En [8] se menciona que para el desarrollo del sistema se utilizó la metodología Dynamic Systems Development Method (DSDM), basada en el modelo de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD), lo que permite la flexibilidad en el uso de cualquier entorno de programación y da prioridad a la participación del usuario final en el equipo de desarrollo. La investigación fue de tipo explicativo-experimental y se utilizó la prueba T de Student para comparar tiempos entre el proceso de evaluación tradicional y el optimizado. Los resultados indican una mejora significativa en los tiempos de respuesta y un aumento en el interés de los estudiantes por reforzar los contenidos. Se recomienda a los docentes ingresar una variedad de preguntas y ejercicios para evitar repeticiones y mantener la eficacia del sistema en el aprendizaje.

En [7], se desarrolló una aplicación web para la gestión de una librería en línea utilizando las tecnologías Spring Boot y Vue.js. Spring Boot se empleó para la parte del servidor, facilitando la creación de aplicaciones empresariales robustas y escalables, mientras que Vue.js se utilizó para la parte del cliente, ofreciendo una interfaz interactiva y reactiva. Para mejorar la apariencia y la experiencia del usuario, se incorporó Element, un framework de diseño de componentes. La comunicación entre el servidor y el cliente se manejó de forma eficiente mediante una API REST. Para modelar el sistema, se utilizaron diagramas UML, como diagramas de casos de uso, diagramas de entidad-relación y diagramas de clases. Este enfoque metodológico permitió una implementación estructurada y eficiente, mientras que las tecnologías empleadas facilitaron la creación de una aplicación fácil de mantener y extender.

En [9], se describe la implementación de un software que permite gestionar, monitorear y administrar la información de los árboles dentro de un área determinada, con el fin de optimizar su cuidado y mantenimiento. Utilizando un enfoque que incluye la identificación de cada árbol mediante etiquetas o códigos de barras, herramientas para leer esta información de manera ágil y un software para gestionar los datos, se facilita la planificación y ejecución de mantenimientos necesarios, como riego, poda y control de plagas. El sistema permite la localización de los árboles, lo que garantiza un control más preciso de los inventarios y facilita el acceso a la información sobre su ubicación, especie, condición y mantenimiento requerido. El desarrollo de este sistema se complementa con la integración de tecnologías como Visual Studio y .NET Framework, que permiten crear aplicaciones web y móviles para la gestión eficiente de los datos, mejorando los tiempos de procesamiento y reduciendo la necesidad de desplazamientos, gracias a la automatización de reportes y la toma de decisiones rápidas.

En [10], se analizan tres de los frameworks multiplataforma más recientes. En el estudio comparativo entre los frameworks React Native, Xamarin y Flutter, se evidenció que React Native ofrece un buen rendimiento para aplicaciones simples, con una amplia comunidad y soporte, pero puede necesitar optimizaciones para proyectos más grandes. Xamarin proporciona un rendimiento cercano al nativo gracias a la compilación directa, pero su curva de aprendizaje es más alta y su flexibilidad algo limitada en comparación con los otros dos. Por su parte, Flutter sobresale por su

excelente rendimiento, flexibilidad y facilidad para crear interfaces personalizadas, destacándose también en el desarrollo multiplataforma con soporte para móviles, web y escritorio.

En [11], se describe el desarrollo de un sistema basado en la metodología XP (Extreme Programming), que promueve el trabajo en equipo, la retroalimentación continua y la mejora constante. Este sistema se centra en la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y tiene como objetivo mejorar la documentación de los procesos de transporte y almacenamiento de estos residuos. Se utilizó la metodología ágil XP para garantizar la flexibilidad en el desarrollo y la adaptación a los requisitos del usuario. Además, se implementaron medidas de calidad enfocadas en la usabilidad y eficiencia del sistema, lo que resultó en una mejora significativa en los tiempos de proceso en comparación con el método manual. La investigación también destacó la importancia de crear una interfaz intuitiva y amigable para los usuarios finales, mejorando tanto la experiencia como la eficiencia del sistema en la gestión de RAEE.

La Directiva sobre RAEE 2012 ha logrado que más de la mitad de los residuos electrónicos generados en Europa sean reciclados adecuadamente. Esta directiva establece un principio de responsabilidad ampliada del productor, otorgando responsabilidad del tratamiento al fabricante. La Fundación Ecolec asegura la trazabilidad de los RAEE mediante el seguimiento completo del recorrido de los residuos. El proceso incluye desde la recogida inicial hasta el tratamiento final en plantas especializadas. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), la generación de residuos sólidos urbanos aumentará significativamente. Las proyecciones indican un crecimiento de 2.300 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones en 2050. El costo directo mundial de la gestión de residuos se estimó en 252.000 millones de dólares en 2020. Si se incluyen costos ocultos de contaminación y cambio climático, la cifra se eleva a 361.000 millones de dólares [12] [13].

La implementación de tecnologías blockchain está mejorando significativamente la trazabilidad en la cadena de reciclaje de RAEE. Esta tecnología garantiza una gestión transparente y contribuye a la trazabilidad de materiales recuperados. Blue Circular,

startup española especializada en blockchain, aplica esta tecnología en proyectos como RECICLOS. La empresa ha creado el ecosistema blockchain CircularTrust para trazar procesos de economía circular. Telefónica ha logrado reutilizar más de 313.000 equipos en 2023 mediante la plataforma GRETEL. Esta plataforma permite mayor trazabilidad e información del reciclaje y disposición final de equipos. La Plataforma EC 5.0 utiliza blockchain para garantizar la inmutabilidad y transparencia de la información. Los pasaportes digitales de productos facilitan la trazabilidad completa a lo largo del ciclo de vida [14] [15].

1.3 Fundamentación teórica

La fundamentación teórica de este estudio se enfoca en los conceptos y herramientas tecnológicas que sustentan el desarrollo de un sistema de gestión de información multiplataforma para la recolección y seguimiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Esta plataforma tiene como objetivo mejorar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE en las instituciones afiliadas al proyecto de investigación I+D+i de la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal del Cantón Ambato

Esta sección aborda las herramientas tecnológicas y los conceptos fundamentales que sustentan el problema de investigación, específicamente orientados al desarrollo de un sistema de gestión de información en el contexto de la economía circular para dispositivos eléctricos y electrónicos. A través del análisis de tecnologías clave empleadas en estudios similares, se construye una base metodológica sólida para esta investigación. Igualmente, los conceptos teóricos sobre los procesos asociados al problema ofrecen una comprensión detallada del fenómeno en cuestión. Este marco teórico establecerá un vínculo esencial entre los estudios antecedentes y el presente proyecto, identificando tanto las limitaciones como los beneficios de las herramientas seleccionadas, lo que permitirá tomar decisiones bien fundamentadas en el desarrollo del sistema multiplataforma.

1.3.1 Frameworks de desarrollo

Un framework es un entorno reutilizable de software que ofrece funciones específicas dentro de una plataforma mayor, simplificando el desarrollo de aplicaciones y soluciones de software [16] . En , para desarrollar la aplicación de titulación, se utilizaron .NET Framework y ASP.NET para manejar el backend, proporcionando una estructura robusta para la gestión de datos. Xamarin fue implementado para asegurar una experiencia unificada en dispositivos móviles, permitiendo el acceso desde cualquier ubicación. Además, Bootstrap se empleó en el frontend web para lograr una interfaz adaptable y accesible, y Entity Framework facilitó la interacción eficiente con los datos, optimizando las consultas y el almacenamiento.

En [17], los frameworks utilizados en el desarrollo de la aplicación fueron CodeIgniter, un framework PHP que implementa el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC) para facilitar el desarrollo y estructuración del sistema, y jQuery, una biblioteca JavaScript que mejora la interactividad y manipulación del DOM, permitiendo una interfaz de usuario dinámica y responsiva.

En [18], se usa Spring Boot para el desarrollo de la parte del servidor, facilitando la creación de aplicaciones empresariales de manera rápida y eficiente, y Vue.js para la parte del cliente, proporcionando una interfaz interactiva y dinámica. Además, se emplea Element, un framework de diseño de componentes, para mejorar la interfaz de usuario y la experiencia de navegación en la aplicación web.

En empresas de telecomunicaciones como Telefónica Tech, se ha observado una implementación estratégica de frameworks multiplataforma para transformación digital empresarial. Telefónica Tech ofrece una amplia gama de servicios tecnológicos integrados incluyendo desarrollo de aplicaciones, análisis de datos, bases de datos, seguridad y colaboración. La compañía utiliza plataformas que permiten crear aplicaciones que funcionan en múltiples dispositivos desde una única base de código, reduciendo dramáticamente el tiempo de desarrollo y los costos de mantenimiento. En colaboración con IBM, Telefónica Tech implementa soluciones de inteligencia artificial que incluyen generación de código para aplicaciones IT, automatización de procesos e incidencias, y asistentes cognitivos en operaciones industriales. La

experiencia de Telefónica Tech demuestra que las organizaciones pueden operar utilizando infraestructura fiable y de escala planetaria, aprovechando tecnologías que impulsan productos digitales utilizados mundialmente. Esta aproximación empresarial valida la eficacia de los frameworks multiplataforma en entornos de producción complejos [19] .

1.3.2 Sistemas de Gestión de Información (SGI)

Un sistema de gestión de la información es un conjunto integrado de herramientas y técnicas que recopila, procesa y convierte datos en información valiosa para la gestión. Al procesar información normativa, de planificación y contable, permite tomar decisiones estratégicas, ajustar objetivos y planificar ciclos futuros de manera eficiente [20].

El desarrollo de un Sistema de Gestión de Información (SGI) centrado en la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) es fundamental para optimizar los procesos de recolección, clasificación, tratamiento y disposición de estos desechos específicos. Un SGI bien diseñado no solo facilita la trazabilidad de los RAEE a lo largo de todo su ciclo de vida, sino que también permite integrar diversas fuentes de datos para mejorar la toma de decisiones en tiempo real, lo que asegura una gestión más eficiente. En el contexto de países como Ecuador, donde la infraestructura y las políticas regulatorias no son suficientes, un SGI podría ser clave para gestionar los RAEE de manera sostenible [4] [9].

La implementación de un SGI debe incluir módulos automatizados que realicen un seguimiento continuo de los residuos electrónicos y eléctricos desde su generación hasta su disposición final, optimizando cada fase del proceso. Estos módulos pueden incorporar tecnologías avanzadas de análisis de datos para monitorear y predecir la generación de RAEE, permitiendo la planificación estratégica a largo plazo bajo los principios de la economía circular [5] [19]. Además, el SGI debe ser flexible para adaptarse a la evolución tecnológica y regulatoria, asegurando su actualización constante según las necesidades del mercado y las normativas ambientales [1].

Las tecnologías y herramientas específicas para un SGI de RAEE son esenciales para garantizar una gestión eficiente y sostenible de estos residuos. El uso de software especializado y aplicaciones móviles permite una gestión precisa y automatizada, lo que mejora la trazabilidad de los RAEE y asegura eficiencia desde la recolección hasta la disposición final [7] [8]. Estas tecnologías no solo optimizan el flujo de residuos, sino que también recopilan datos cruciales para mejorar los procesos de gestión y minimizar el impacto ambiental [19] [20]. Por ejemplo, las plataformas en la nube ofrecen acceso en tiempo real a información crítica, lo que permite a los gestores tomar decisiones más rápidas y fundamentadas [21].

En conclusión, el desarrollo de un SGI para la gestión de RAEE debe enfocarse en maximizar la eficiencia y sostenibilidad, integrando tecnologías avanzadas y herramientas de análisis que optimicen cada etapa del ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos. Además, el sistema debe ser adaptable a las necesidades locales, como el caso de Ecuador, y estar alineado con las tendencias globales de gestión de residuos electrónicos y eléctricos [1] [4].

1.3.3 Gestores de Base de Datos

Un sistema gestor de bases de datos (SGBD) es un software que facilita la creación, gestión y administración de datos, actuando como interfaz entre usuarios y aplicaciones para garantizar la organización y calidad de la información [21]. En [11], se utiliza MySQL como gestor de base de datos (SGBD). MySQL es una de las bases de datos más populares y confiables, especialmente para aplicaciones web, debido a su robustez, rendimiento y facilidad de uso. Ofrece una arquitectura cliente-servidor que permite una comunicación eficiente con aplicaciones web. Además, MySQL es una opción de código abierto, lo que lo hace una herramienta accesible y flexible, permitiendo la personalización y adaptación a diferentes necesidades del sistema [23]. También es conocido por su fiabilidad, alta disponibilidad y compatibilidad con múltiples plataformas, lo cual es esencial para garantizar un funcionamiento continuo y sin problemas en diversos entornos.

En [10] , se seleccionaron gestores de bases de datos que permiten un manejo robusto y eficiente de la información. SQL Server fue elegido por su capacidad para manejar

grandes volúmenes de datos y su integración con .NET. Además, se consideraron sus características avanzadas, como procedimientos almacenados y triggers, que optimizan la automatización de tareas recurrentes.

1.3.4 Arquitectura

La arquitectura de software es una planificación estructurada que define cómo se organizan e interrelacionan los componentes de un sistema. Se basa en patrones y modelos que proporcionan soluciones reutilizables para problemas comunes en el desarrollo de software. Actúa como una guía teórica que facilita la implementación de sistemas complejos. Su objetivo es asegurar una estructura eficiente y coherente en el diseño y desarrollo del software [22].

La arquitectura monolítica constituye un enfoque tradicional donde toda la aplicación se desarrolla como una unidad única y cohesiva. En este tipo de arquitectura, todos los componentes del sistema están fuertemente acoplados y se ejecutan en un mismo proceso. Este enfoque presenta ventajas como la simplicidad en el desarrollo inicial y la facilidad para realizar pruebas locales, pero también limitaciones significativas en términos de escalabilidad y mantenibilidad a largo plazo [23].

La arquitectura en capas organiza el sistema en niveles jerárquicos, donde cada capa tiene responsabilidades específicas y bien definidas. Tradicionalmente se implementa con tres capas principales: presentación, lógica de negocio y acceso a datos. Esta separación facilita el mantenimiento del código, permite la reutilización de componentes y mejora la testabilidad del sistema. En el contexto de sistemas de gestión de RAEE, esta arquitectura permite separar claramente la interfaz de usuario, los procesos de negocio relacionados con la trazabilidad de residuos, y el almacenamiento de datos [24].

La arquitectura cliente-servidor distribuye las responsabilidades entre dos entidades principales: el cliente, que solicita servicios, y el servidor, que los proporciona. Esta arquitectura es especialmente relevante para aplicaciones multiplataforma como las propuestas en este estudio, ya que permite centralizar la lógica de negocio en el servidor mientras se mantienen interfaces ligeras en los dispositivos cliente. Para

sistemas de gestión de RAEE, esto facilita el acceso desde múltiples dispositivos manteniendo la consistencia de datos [25].

La arquitectura de microservicios descompone la aplicación en servicios pequeños e independientes que se comunican a través de APIs bien definidas. Cada microservicio puede desarrollarse, desplegarse y escalarse de forma independiente. Aunque presenta mayor complejidad inicial, ofrece beneficios significativos en términos de escalabilidad, flexibilidad tecnológica y capacidad de mantenimiento distribuido.

1.3.5 Metodología

Una metodología de desarrollo de software es un conjunto estructurado de prácticas y procesos que guían cómo llevar a cabo cada etapa en la creación de software, desde el diseño hasta la entrega. Puede basarse en enfoques tradicionales, que se enfocan en la planificación rigurosa y control del proceso, o en metodologías ágiles, que priorizan la adaptabilidad y el trabajo colaborativo en ciclos cortos. Estas metodologías buscan optimizar la productividad y la calidad del software, ajustándose a las necesidades de cada proyecto[26]. En [12], se usó el Método de Desarrollo de Sistemas Dinámicos (DSDM), una metodología basada en el desarrollo rápido de aplicaciones (RAD). DSDM se enfoca en la colaboración activa con los usuarios finales, integrándolos como miembros del equipo de desarrollo para asegurar que el sistema responda a sus necesidades reales. Al seguir DSDM, se promueve la entrega rápida de prototipos funcionales, lo cual permite realizar ajustes y mejoras continuas según el feedback del usuario. Esta metodología ayuda a reducir tiempos de desarrollo y garantiza que el producto final sea ágil, adecuado y alineado con las expectativas de los usuarios y los objetivos institucionales del IDI [27].

La metodología Scrum se ha consolidado como una de las más utilizadas globalmente, especialmente en Ecuador donde representa la metodología ágil más adoptada según estudios recientes de la Región 7. Scrum divide el proyecto en pequeños bloques llamados sprints que duran típicamente entre 2 a 4 semanas, proporcionando un incremento completo del producto al finalizar cada iteración. Es un proceso empírico que se fundamenta en tres pilares: transparencia (el proceso y estado del trabajo es visible para todos), inspección (permite examinar el progreso hacia los objetivos), y

adaptación (ajustar el rumbo ante desviaciones detectadas). Los equipos Scrum adoptan roles específicos: Product Owner (aboga por el cliente y gestiona el backlog), Scrum Master (ayuda al equipo a mantenerse fiel a los principios), y Development Team (selecciona el trabajo y entrega incrementos). Al finalizar cada sprint, se obtiene un prototipo funcional que el cliente puede utilizar, permitiendo retroalimentación temprana y ajustes continuos. Las reuniones diarias (daily stand-ups) facilitan la comunicación constante y la resolución rápida de impedimentos. La metodología incluye ceremonias específicas como Sprint Planning, Daily Scrum, Sprint Review y Sprint Retrospective para mantener la estructura y el enfoque en la mejora continua [28] [29] [30].

Extreme Programming (XP) se distingue por su enfoque en la adaptabilidad del proceso antes que en la previsión de incidentes, considerando que los fallos son elementos naturales del desarrollo. XP sigue cuatro etapas en su ciclo de vida: planificación, diseño, desarrollo y pruebas, con un énfasis particular en la calidad del código y las prácticas técnicas. Los principios fundamentales incluyen simplicidad en el diseño, uso de metáforas para facilitar la comunicación con el cliente, refactoring continuo para mejorar la claridad y eficiencia del código, y programming in pairs para aumentar la calidad. La metodología promueve releases frecuentes que permiten obtener feedback temprano del cliente y adaptar el desarrollo según las necesidades emergentes. Las pruebas unitarias automatizadas son fundamentales en XP, asegurando que cada componente funcione correctamente antes de la integración. El ritmo de trabajo es sostenible, evitando la sobrecarga del equipo y manteniendo la productividad a largo plazo. XP es especialmente efectivo en proyectos con requisitos cambiantes y equipos pequeños donde la comunicación directa es factible [31] [32] .

La metodología Kanban, originada en las fábricas de Toyota en los años 80, se basa en la visualización del trabajo y la mejora continua del flujo de procesos. Utiliza tableros visuales organizados en columnas que representan diferentes estados del trabajo: "pendiente", "en progreso" y "completado", permitiendo identificar el avance de los proyectos de un vistazo. El principio fundamental es limitar el trabajo en curso (WIP limits) para garantizar que el flujo sea ágil y evitar la sobrecarga del equipo. Kanban se centra en la eliminación de desperdicios (waste) y la creación de valor mediante el aprendizaje continuo sobre el cliente. El lead time (tiempo que toma

completar una tarea) debe medirse constantemente para identificar oportunidades de mejora. A diferencia de Scrum, Kanban no prescribe roles específicos ni ceremonias obligatorias, siendo más flexible en su implementación. Los cambios se pueden realizar en cualquier momento sin esperar al final de una iteración específica. La metodología es especialmente útil para equipos que manejan trabajo operativo continuo o proyectos con requisitos variables en el tiempo [33] [30].

1.3.6 Alojamiento Web

El alojamiento web es un servicio que permite almacenar los archivos de un sitio web en un servidor para que sea accesible por internet. Los proveedores ofrecen recursos como almacenamiento, procesamiento, seguridad, copias de seguridad y soporte técnico, además de servicios adicionales como registro de dominios y acceso a redes de distribución de contenido. Existen distintos planes según las necesidades del cliente, variando en precio según el espacio, los recursos compartidos o dedicados, y el nivel de gestión requerido, ya sea que el usuario administre el sitio por su cuenta o delegue todo al proveedor [34].

Tipos de Servicios de Alojamiento Web

Existen diferentes tipos de alojamiento web, como alojamiento compartido, donde compartes espacio de servidor con otros sitios web, o alojamiento dedicado, donde tienes tu propio servidor [35].

Alojamiento Compartido: Múltiples sitios web diferentes se almacenan en un solo servidor web y comparten recursos como RAM y CPU [35] .Es más adecuado para sitios web pequeños con menos tráfico.

Alojamiento VPS: Un solo servidor se particiona en múltiples servidores virtuales, con cada sitio web teniendo sus propios recursos dedicados [36].

Alojamiento Dedicado: Un solo sitio web tiene acceso a un servidor completo y sus recursos, proporcionando máximo control y flexibilidad [36].

Alojamiento en la Nube: Implica alojar sitios web en múltiples servidores que trabajan juntos para proporcionar máximo tiempo de actividad y escalabilidad [36].

1.3.7 Que es RAEE?

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) son todos aquellos equipos eléctricos y electrónicos que han llegado al final de su vida útil y que son desechados por sus usuarios. Estos residuos comprenden una amplia gama de dispositivos que incluyen desde electrodomésticos de gran tamaño (refrigeradores, lavadoras, aires acondicionados) hasta equipos pequeños de tecnología de la información y comunicación (teléfonos móviles, computadoras, tabletas) [1].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un sistema de gestión de información multiplataforma para la recolección y seguimiento de aparatos eléctricos y electrónicos, que permita mejorar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE en las instituciones afiliadas al proyecto de investigación I+D+i 2024 DIDE - UTA (GAD Municipal del Cantón Ambato - UTA).

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión sistemática de la literatura para identificar los problemas existentes en la gestión de información de RAEE
- Analizar frameworks multiplataforma en términos de escalabilidad y sostenibilidad para seleccionar el más adecuado que optimice la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE.
- Evaluar la utilidad de la aplicación multiplataforma en el proceso de recolección de aparatos eléctricos y electrónicos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Los recursos materiales comprenden los elementos físicos y tecnológicos necesarios para el desarrollo del proyecto. Incluyen herramientas y equipos que facilitan la implementación, diseño, prueba y documentación del sistema propuesto. Estos recursos son fundamentales para garantizar que las actividades se realicen de manera eficiente y con la calidad requerida.

- **Laptop:** Equipo principal utilizado para el desarrollo y ejecución del proyecto.
- **Internet:** Conexión indispensable para la búsqueda de información, acceso a herramientas en línea y comunicación entre los involucrados.
- **Mouse:** Dispositivo que facilita el manejo del equipo durante el proceso de desarrollo.
- **IDE de desarrollo:** Entorno de desarrollo integrado que permite programar, depurar y ejecutar el software.
- **Figma:** Herramienta digital empleada para el diseño de prototipos de la interfaz de usuario.
- **Gestor de base de datos:** Software destinado a la gestión, organización y almacenamiento de los datos del sistema.
- **Control de versiones:** Herramienta utilizada para el seguimiento, control y colaboración en los cambios del código fuente.
- **Celular:** Dispositivo auxiliar utilizado para pruebas de funcionamiento, comunicación y acceso móvil a funcionalidades del sistema.

2.2 Métodos

La metodología propuesta para el desarrollo del sistema de gestión de información para el tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se estructura en tres etapas clave.

La primera etapa corresponde al levantamiento de información, en la cual se realizará una revisión bibliográfica de artículos científicos, tesis y documentos técnicos sobre economía circular, trazabilidad de residuos electrónicos y sistemas de información similares. Paralelamente, se aplicarán encuestas dirigidas a los usuarios potenciales del sistema dentro de las instituciones afiliadas en el cantón Ambato, con el objetivo de identificar las necesidades específicas y los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema.

En la segunda etapa se procederá al análisis de los datos recolectados y al diseño e implementación del sistema. Esta fase incluirá la modelación UML, el desarrollo del sistema multiplataforma utilizando frameworks tecnológicos adecuados, y la integración de funcionalidades como el registro, clasificación y generación de reportes de RAEE. Los datos serán almacenados en una base de datos estructurada que garantizará la integridad y trazabilidad de la información ingresada por los distintos roles de usuario.

Finalmente, en la tercera etapa, se validará el sistema mediante pruebas técnicas y la retroalimentación de los usuarios, quienes evaluarán la utilidad, usabilidad y funcionalidad del sistema. Se integrarán herramientas para la exportación de reportes en formatos Excel y PDF, con visualización clara de los filtros aplicados (empresa, año, origen, categoría) y el total de RAEE gestionado en kilogramos. Esta metodología permitirá desarrollar una herramienta tecnológica funcional, alineada con los principios de sostenibilidad y economía circular, y con potencial de aplicarse en otras regiones del país.

2.2.1 Modalidad de la investigación

La presente investigación adopta una modalidad cuantitativa con un enfoque aplicado, orientado al desarrollo de un sistema de gestión de información para el tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el cantón Ambato. Este enfoque permite analizar, medir y evaluar de forma objetiva aspectos clave del sistema, como la eficiencia en el registro, clasificación y generación de reportes de RAEE, así como su impacto en la trazabilidad de los residuos gestionados.

2.2.2 Población y muestra

En el contexto de la presente investigación, se considera como población inicial al personal de las instituciones vinculadas al proyecto de investigación, ya que serán los principales proveedores de información relevante sobre los procesos internos relacionados con la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). La población de este estudio está conformada por los miembros de las tres instituciones afiliadas al proyecto: la Universidad Técnica de Ambato (UTA), el Municipio del Cantón Ambato y el Instituto Superior Tecnológico Tungurahua.

El desglose de la población es el siguiente:

- Universidad Técnica de Ambato (UTA): 4 personas (funcionarios, docentes y administrativos).
- Municipio del Cantón Ambato: 8 administrativos.
- Instituto Superior Tecnológico Tungurahua: 4 docentes.

Primero, se calculó el tamaño de la muestra total utilizando la fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N.Z^2.p.q}{e^2(N-1) + Z^2.p.q}$$

Donde:

- n: Tamaño de la muestra.
- N = 16: Tamaño de la población total.

- Z = 1.96: Valor correspondiente a un nivel de confianza del 95%.
- p = 0.5: Proporción esperada de éxito.
- q = 1 − p = 0.5: Proporción esperada de fracaso.
- e = 0.1: Margen de error (10%).

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$n = \frac{16.(1.96)^2.0{,}5.0{,}5}{(0.1)^2(16-1)+1.96^2.0{,}5.0{,}5}$$

Resolviendo:

$$n = \frac{15.4060}{1.1004} = 14$$

Por lo tanto, el tamaño total de la muestra es **n = 14.**

Distribución Estratificada

Para distribuir la muestra proporcionalmente entre los estratos (instituciones), se utilizó la fórmula:

$$ni = n.\frac{N_i}{N}$$

Donde:

- n_i: Tamaño de la muestra para el estrato i.
- n = 14: Tamaño total de la muestra.
- N_i: Tamaño de la población del estrato i.
- N = 16: Tamaño total de la población.

Los datos de los estratos son:

- Universidad Técnica de Ambato (UTA): N_1 = 4.
- Municipio del Cantón Ambato: N_2 = 8.
- Instituto Superior Tecnológico Tungurahua: N_3 = 4.

Sustituyendo:

$$n_1 = 14.\frac{4}{16} = 3$$

$$n_2 = 14.\frac{8}{16} = 7$$

$$n_3 = 14.\frac{4}{16} = 3$$

Resultado Final

El tamaño muestral estratificado es el siguiente:

- **UTA:** 3 personas.
- **Municipio del Cantón Ambato:** 7 personas.
- **Instituto Superior Tecnológico Tungurahua:** 3 personas.

Total de la muestra: 13 personas.

2.2.3 Recolección de información

Para la recolección de información se implementará una encuesta virtual dirigida a los participantes de las instituciones afiliadas al proyecto, aplicando la muestra estratificada que será calculada a partir de la población total de 16 personas distribuida en: 4 personas de la Universidad Técnica de Ambato (funcionarios, docentes y administrativos), 8 administrativos del Municipio del Cantón Ambato y 4 docentes del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. La encuesta será diseñada con preguntas cerradas utilizando escala tipo Likert de 5 puntos para medir las percepciones sobre la trazabilidad de RAEE, accesibilidad del sistema multiplataforma y barreras técnicas institucionales. Para garantizar la confiabilidad del instrumento, se validará mediante el coeficiente Alpha de Cronbach, considerando valores superiores a 0.70 como indicadores de consistencia interna aceptable, lo que asegurará que las preguntas midan de manera coherente los constructos evaluados y permitan obtener datos válidos para el análisis cuantitativo posterior. Anexo A. Encuesta Inicial.

En el Anexo B, confiabilidad del instrumento de medición fue evaluada mediante el coeficiente Alpha de Cronbach, aplicado a las 10 preguntas centrales del cuestionario (excluyendo la pregunta de identificación institucional y la de comodidad al responder la encuesta, por no formar parte del constructo evaluado). El análisis se realizó con una muestra de 13 participantes de las tres instituciones colaboradoras. Los resultados obtenidos muestran un Alpha de Cronbach de $\alpha = 0.7966$, lo cual indica una **consistencia interna aceptable** [37] .

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos a través de las encuestas aplicadas al personal de las instituciones afiliadas al proyecto en el Cantón Ambato será fundamental para identificar los requerimientos clave del sistema de gestión de información multiplataforma enfocado en la economía circular de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Este análisis permitirá reconocer los principales desafíos operativos y tecnológicos relacionados con la trazabilidad, categorización y manejo de los RAEE, así como comprender las expectativas y necesidades específicas de las instituciones involucradas.

Durante este proceso, se procederá a clasificar los problemas más relevantes, tales como la falta de integración de información, la ineficiencia en los procesos de recolección y seguimiento de residuos, y las limitaciones actuales en el cumplimiento de normativas ambientales. Además, se identificarán hallazgos significativos que orientarán el diseño funcional del sistema, garantizando que las funcionalidades desarrolladas se alineen con las condiciones reales del entorno institucional y aporten a la optimización de los procesos de gestión.

El análisis será riguroso y sistemático, aplicando metodologías que aseguren la validez, confiabilidad y utilidad de los datos recopilados. Este enfoque permitirá no solo el desarrollo de una solución tecnológica adaptada al contexto local, sino también sentar las bases para una mejora continua en la sostenibilidad operativa y ambiental del manejo de RAEE. De esta manera, el sistema propuesto se alinea con los principios de la economía circular, promoviendo un impacto positivo y responsable en el Cantón Ambato.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Problemas en la Gestión de Información de RAEE

En Ecuador, la ausencia de un sistema integral y eficiente para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) ha generado una serie de impactos negativos tanto ambientales como sociales. A pesar del creciente consumo de dispositivos electrónicos, no existe una infraestructura tecnológica adecuada que permita el registro, trazabilidad y control de estos residuos desde su generación hasta su disposición final. Esta carencia dificulta la correcta recolección, clasificación, reutilización o reciclaje de los aparatos, promoviendo el almacenamiento inadecuado, la disposición informal y el aumento de contaminación por metales pesados y sustancias peligrosas. Además, la falta de digitalización y de plataformas de información accesibles impide a las autoridades, empresas y ciudadanos conocer el destino de los RAEE, lo que limita la toma de decisiones informadas y frena el avance hacia una economía circular en el país.[38].

3.1.1 Principales Problemas Identificados

La creciente producción y consumo de aparatos eléctricos y electrónicos ha llevado a un aumento significativo en la generación de residuos, conocidos como RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos). La literatura evidencia que la falta de infraestructura para la recolección y clasificación de residuos electrónicos [39] .

- ***Pérdida de Trazabilidad:***

En Ecuador, la ausencia de un sistema de registro genera:

Imposibilidad de Seguimiento:

No se puede rastrear el origen de los RAEE

Falta de información sobre cantidades exactas gestionadas

- ***Falta de Control Regulatorio:***

Falta de control sobre cumplimiento normativo

Desconocimiento de quiénes introducen RAEE al mercado

Desconocimiento de categorías y tipos de equipos

- ***Problemas de Gestión Operativa***

Información Fragmentada

La falta de integración de información es uno de los principales problemas, manifestándose en:

Datos dispersos entre diferentes instituciones

Registros manuales inconsistentes

Pérdida de información por cambios de personal

Duplicación de esfuerzos entre organizaciones.

3.2 Análisis de Tecnologías

3.2.1 Metodologías de Desarrollo

Para la implementación del sistema de gestión de información multiplataforma para RAEE, es fundamental evaluar las metodologías de desarrollo de software más utilizadas en proyectos ágiles, como Kanban, Scrum, XP y Cascada, para seleccionar la que mejor se adapte a las características del proyecto y las necesidades de las instituciones participantes. En la siguiente tabla se muestra una comparación de los criterios clave de cada metodología.

Tabla 1. Comparación de Metodologías

Criterio	Kanban	Scrum	XP	Cascada
Overhead ceremonial	Mínimo	Alto (5 reuniones)	Medio	Alto
Adaptabilidad cambios	Inmediata	Solo entre sprints	Continua	Baja
Configuración inicial	30 minutos	1-2 días	2-3 días	1 semana
Roles requeridos	Ninguno	Scrum Master, PO	Equipo completo	Jerárquicos
Control progreso	Tablero visual	Sprint backlog	Código funcional	Documentación

En Tabla 1, se realizó una comparación de metodologías considerando a la misma en la presente investigación se adoptó Kanban como metodología ágil para guiar el desarrollo del sistema de gestión de información multiplataforma para RAEE. Esta elección se fundamenta en las características específicas del proyecto y las ventajas que ofrece esta metodología para proyectos de desarrollo individual.

Kanban es un método de gestión visual del flujo de trabajo que se originó en la industria manufacturera japonesa y ha sido adaptado exitosamente para el desarrollo de software . Se caracteriza por utilizar un tablero visual con tarjetas que representan tareas, las cuales se mueven a través de diferentes estados conforme avanza el trabajo.[40]

La selección de Kanban se basó en los siguientes criterios técnicos y metodológicos:

Flexibilidad y adaptabilidad: Kanban permite adaptarse a cambios en los requerimientos sin interrumpir el flujo de trabajo, característica fundamental para proyectos donde las necesidades pueden evolucionar durante el desarrollo[41] . En el contexto de este proyecto, esta flexibilidad resultó esencial para incorporar retroalimentación de las instituciones participantes dentro del proyecto de investigación.Implementación del tablero Kanban

Para la gestión práctica del proyecto se implementó un tablero Kanban digital utilizando la herramienta Jira, donde cada tarjeta representó una actividad específica del desarrollo del sistema de gestión de RAEE. Se establecieron revisiones semanales del estado de las actividades para monitorear el flujo de trabajo y realizar ajustes según las necesidades identificadas.

El método Kanban funciona como una herramienta de planificación. Su nombre proviene del japonés, donde *Kan* significa "visual" y *ban* se traduce como "tarjeta" o "tablero" como se evidencia en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, p or lo que se interpreta como "tablero o tarjeta visual". Cada tablero representa una unidad de trabajo. Esta metodología tiene como propósito establecer un mapa de flujo de valor, definiendo los límites de trabajo en cada etapa del proyecto para enfocar los esfuerzos en las tareas que aportan valor. Se trata de un sistema visual que permite gestionar una cadena de procesos mediante señales.

Kanban facilita la evaluación del desempeño del equipo, organiza el flujo de trabajo asegurando claridad en cada fase del proyecto, permite planificar la carga laboral, asignar tareas adecuadamente y evitar acumulaciones. Todo esto contribuye al cumplimiento de los plazos, mejora la calidad del proyecto, permite detectar incidencias y encontrar soluciones de manera oportuna. [24]



Figura 1. Kanban Tablero Ejemplo

3.2.2 Frameworks

Para el desarrollo del sistema multiplataforma de gestión de RAEE, es esencial analizar los frameworks de desarrollo web más reconocidos en el mercado, como Django, Laravel, Spring Boot, Express y Flask, para determinar cuál ofrece las mejores

capacidades en términos de seguridad empresarial, gestión de bases de datos y funcionalidades específicas requeridas para el manejo de residuos electrónicos. En la siguiente tabla se presenta una comparación detallada de las características técnicas de cada framework.

Tabla 2. Comparación Frameworks

Criterio Clave	**Django**	**Laravel**	**Spring Boot**	**Express**	**Flask**
Panel Admin Integrado	Automático y personalizable	Requiere Laravel Nova ($)	Desarrollo manual	Desarrollo completo	Flask-Admin básico
Seguridad Empresarial	CSRF, XSS, SQL nativos	Buena protección	Spring Security robusto	Configuración manual	Implementación manual
ORM para RAEE	Relaciones complejas nativas	Eloquent elegante	JPA/Hibernate	Requiere Sequelize/Prisma	Requiere SQLAlchemy
Reportes y Exports	Excel/PDF integrados	Laravel Excel	Librerías Java	Librerías Node	Desarrollo manual
Años de Desarrollo	10/10 - 19 años(2005-2024)	8/10 - 13 años	9/10 - 12 años	8/10 - 14 años	8/10 - 14 años
Documentación	10/10 - Completa y actualizada	9/10 - Excelente docs	8/10 - Documentación técnica	8/10 - Docs básicas	8/10 - Docs básicas
Crecimiento Base Datos	9/10 PostgreSQL optimizado	8/10 MySQL/PostgreSQL	10/10 Múltiples SGBD	7/10 NoSQL/SQL híbrido	7/10 - SQLite/PostgreSQL

En Tabla 2, Django se consolida como la opción técnicamente superior para sistemas de gestión de RAEE al ofrecer un **panel administrativo automático y personalizable** que elimina tiempo de desarrollo manual requerido por otros frameworks, **seguridad empresarial nativa** (CSRF, XSS, SQL injection) sin configuración adicional, y un **ORM optimizado** para modelar relaciones complejas entre aparatos eléctricos, categorías RAEE, empresas y procesos de reciclaje. Mientras Laravel requiere inversión adicional en Laravel Nova, Spring Boot demanda desarrollo manual completo del panel administrativo, y Express/Flask necesitan implementación manual de funcionalidades críticas Django proporciona **reportes Excel/PDF integrados** y **PostgreSQL optimizado** para manejar eficientemente la recolección de RAEE.

Django emerge como la opción óptima para sistemas de gestión de RAEE en términos de escalabilidad y sostenibilidad debido a sus 19 años de desarrollo continuo (2005-2024) con una comunidad activa de 2,800+ contribuidores que garantiza estabilidad a largo plazo, superior a Laravel (13 años, 1,500+ contribuidores) y Flask (700+ contribuidores). Django ofrece el mejor **equilibrio escalabilidad-sostenibilidad** con menor riesgo de obsolescencia tecnológica y costos de mantenimiento reducidos.

Django emerge como la opción técnicamente superior para sistemas de gestión de RAEE, ofreciendo una arquitectura robusta, ecosistema maduro, y capacidades específicas para aplicaciones ambientales que superan significativamente a frameworks alternativos.[42]. En cuanto a la escalabilidad y el rendimiento los benchmarks TechEmpower 2024 revelan diferencias sustanciales en rendimiento entre frameworks. Django, demuestra rendimiento consistente con tiempos de respuesta de 37.2ms comparado con otros frameworks [43].

- ***Sostenibilidad***

Madurez y Estabilidad

Django presenta 19 años de desarrollo continuo (2005-2024) con una comunidad activa de 2,800+ contribuidores, garantizando estabilidad a largo plazo [44]. Su política de Long Term Support (LTS) proporciona soporte de 3 años por versión, reduciendo riesgos de obsolescencia. En comparación, Laravel tiene 13 años de desarrollo con 1,500+ contribuidores, mientras que Flask cuenta con menor soporte corporativo.

Sostenibilidad Económica

Como framework de código abierto, Django elimina costos de licenciamiento y ofrece amplia disponibilidad de desarrolladores en el mercado ecuatoriano. Su estabilidad reduce los costos de mantenimiento a largo plazo, factor crucial para proyectos de investigación I+D+i con presupuestos limitados.

- ***Escalabilidad***

Capacidad de Crecimiento de Datos

Django demuestra capacidad superior para manejar el crecimiento proyectado de RAEE en Ecuador. Según benchmarks de TechEmpower 2024, Django mantiene tiempos de respuesta de 37.2ms incluso con grandes volúmenes de datos [43] [14], Django ofrece escalabilidad lineal sin degradación de rendimiento.

Escalabilidad de Usuarios

La arquitectura Django soporta 1,000+ usuarios concurrentes [42], característica esencial para el sistema multiplataforma que debe atender simultáneamente a personal de UTA, GAD Municipal de Ambato e Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Spring Boot supera en este aspecto con 2,000+ usuarios concurrentes, mientras que Flask se limita a 300+ usuarios [43].

Evaluación de Django según criterios de sostenibilidad y escalabilidad

Tabla 3. Evaluación

Criterio	Descripción
Escalabilidad	Django permite escalar vertical y horizontalmente mediante su arquitectura modular, integración con servicios como NGINX, PostgreSQL y Redis.
Sostenibilidad	El framework tiene soporte a largo plazo (LTS), actualizaciones frecuentes y una comunidad activa, lo que garantiza continuidad técnica y evolución.
Reutilización	Basado en el principio DRY, permite reutilizar componentes y reducir el código redundante, facilitando el mantenimiento y evolución del sistema.
Casos de uso reales	Plataformas como Instagram y Disqus lo han implementado a gran escala, evidenciando su robustez y estabilidad en entornos de alto rendimiento.
Lenguaje base	Django está basado en Python, lenguaje ampliamente difundido en la academia y el sector público, lo que facilita su adopción y mantenimiento.

La elección de Django se sustenta en sus capacidades comprobadas de escalabilidad y sostenibilidad, respaldadas por su arquitectura robusta, amplia comunidad, soporte continuo y adopción por plataformas de alto tráfico como Instagram y Disqus. Estas características lo convierten en una tecnología idónea para desarrollar sistemas de gestión de información en el contexto de la economía circular y los RAEE, donde la trazabilidad y adaptabilidad son esenciales.

3.2.3 Bases de Datos

Para garantizar la integridad y eficiencia en el almacenamiento de datos del sistema de gestión de RAEE, es crucial evaluar los sistemas gestores de bases de datos más utilizados en aplicaciones empresariales, como PostgreSQL, MySQL, SQLite y SQL Server, considerando aspectos como compatibilidad con Django, rendimiento en consultas complejas y escalabilidad. En la siguiente tabla se muestra una comparación exhaustiva de las características técnicas de cada gestor de base de datos.

Tabla 4. Comparación Gestores de BD

Criterio de Evaluación	**PostgreSQL**	**MySQL**	**SQLite**	**SQL Server**
Compatibilidad con Django	Soporte nativo completo	Soporte bueno	Limitado para producción	Requiere drivers adicionales
Tipos de datos avanzados	JSON, Arrays, Tipos personalizados	JSON básico	Tipos básicos únicamente	XML, Tipos CLR
Rendimiento en consultas complejas	Optimizador avanzado	Bueno para consultas simples	Limitado en concurrencia	Muy bueno
Escalabilidad	Horizontal y vertical	Principalmente vertical	No escalable	Excelente
Conformidad con estándares SQL	SQL:2016 completo	Parcial	Básico	Muy bueno
Costo de licenciamiento	Código abierto gratuito	Código abierto gratuito	Dominio público	Licencia comercial costosa
Soporte para transacciones ACID	Completo	Bueno	Limitado	Completo
Capacidad de conexiones concurrentes	Miles de conexiones	Cientos de conexiones	Una conexión de escritura	Miles de conexiones

En Tabla 4, muestra que gestores de bases de datos revela que **PostgreSQL** se destaca como la opción más robusta, ofreciendo soporte nativo completo con Django, tipos de datos avanzados como JSON y arrays, excelente rendimiento en consultas complejas y escalabilidad tanto horizontal como vertical, todo esto sin costo de licenciamiento al ser código abierto. **SQL Server**, aunque presenta características técnicas superiores en términos de rendimiento y escalabilidad, requiere inversión en licencias comerciales costosas que pueden no ser viables para proyectos académicos o de investigación. **MySQL** representa un punto medio equilibrado con buen soporte para Django y funcionalidades adecuadas para la mayoría de aplicaciones web, mientras que **SQLite**,

pese a su simplicidad y facilidad de implementación, presenta limitaciones significativas en concurrencia y escalabilidad que lo hacen inadecuado para sistemas de producción. Para el desarrollo del sistema de gestión de RAEE, PostgreSQL emerge como la elección óptima al combinar capacidades técnicas avanzadas, compatibilidad total con Django, PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos objeto-relacional de código abierto, reconocido por su conformidad con estándares SQL y su arquitectura[45]. La selección se basó en los siguientes criterios técnicos:

Compatibilidad nativa con Django: PostgreSQL es oficialmente recomendado por la documentación de Django debido a su soporte completo para características avanzadas del ORM (Object-Relational Mapping). Django incluye un adaptador específico django.db.backends.postgresql que optimiza la comunicación entre el framework y la base de datos [46].

3.2.4 Arquitectura

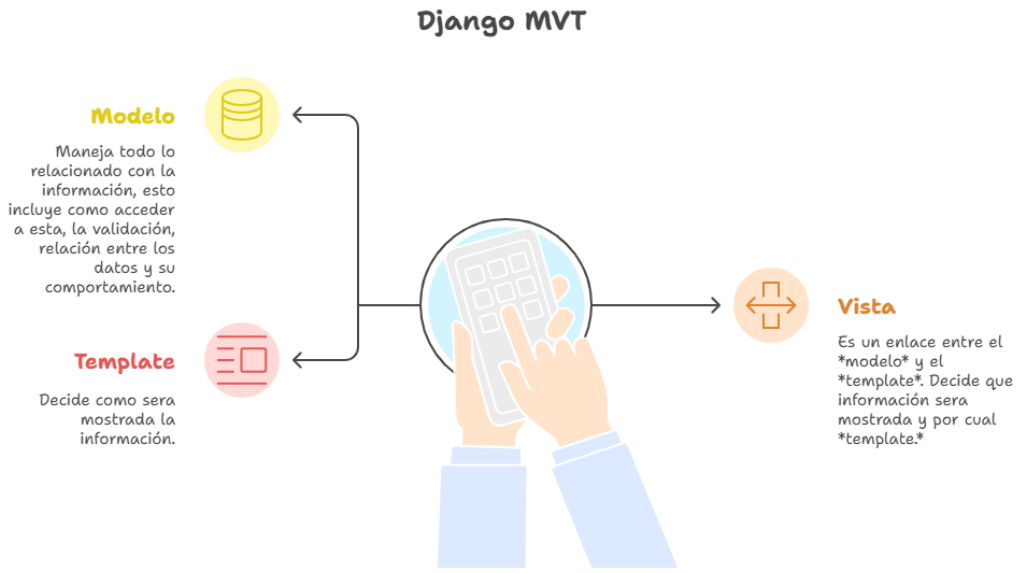


Figura 2. Arquitectura MVT

En Figura 2, se observa que Django implementa el patrón Model-View-Template (MVT), una evolución del MVC tradicional donde Django actúa como controlador implícito a través de su URL dispatcher. [47]

Ventajas arquitectónicas:

- Separación de responsabilidades clara y enforzada
- Bajo acoplamiento entre componentes
- Reutilización de código maximizada
- Desarrollo modular paralelo
- Mantenibilidad a largo plazo superior [22] .

Para el desarrollo del sistema de gestión de información multiplataforma de RAEE presentado en esta investigación, la arquitectura Modelo-Vista-Template (MVT) se selecciona como el patrón arquitectónico óptimo debido a su capacidad para estructurar eficientemente las funcionalidades específicas del proyecto: el Modelo administra la persistencia y relaciones de datos críticos como el registro de aparatos eléctricos y electrónicos, información de empresas recolectoras, categorización de residuos y trazabilidad del ciclo de vida de los RAEE, utilizando el ORM de Django para garantizar la integridad referencial y optimizar las consultas de base de datos necesarias para el seguimiento en tiempo real; la Vista implementa la lógica de negocio especializada en economía circular, procesando las operaciones de registro, clasificación, generación de reportes y exportación de datos en formatos Excel y PDF requeridos por las instituciones afiliadas al proyecto de investigación ; mientras que el Template proporciona una interfaz de usuario responsive y multiplataforma que facilita el acceso desde dispositivos móviles y de escritorio, permitiendo a los usuarios finales interactuar intuitivamente con los dashboards de gestión, formularios de ingreso de datos y visualizaciones gráficas de indicadores ambientales, cumpliendo así con los objetivos específicos de mejorar la trazabilidad y eficiencia en la gestión sostenible de residuos electrónicos establecidos en la metodología de esta investigación.

3.2.5 Desarrollo del sistema de gestión de información

En esta sección se presenta el desarrollo completo del sistema de gestión de información multiplataforma para el tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y

electrónicos (RAEE). El proceso de desarrollo abarca desde la conceptualización inicial hasta la implementación final del sistema, siguiendo una metodología estructurada que garantiza el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación.

El desarrollo del sistema se realizó de manera integral, contemplando todas las fases necesarias para crear una aplicación multiplataforma funcional y eficiente. Este proceso incluye el análisis de requerimientos, diseño de la arquitectura del sistema, modelado de datos, desarrollo de interfaces de usuario, implementación de la lógica de negocio, integración de componentes y pruebas de funcionalidad.

El sistema desarrollado tiene como objetivo principal mejorar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE en las instituciones afiliadas al proyecto de investigación I+D+i 2024 DIDE - UTA, específicamente el GAD Municipal del Cantón Ambato y la Universidad Técnica de Ambato. La aplicación permite el registro, seguimiento, clasificación y generación de reportes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, promoviendo principios de economía circular.

Tarea 1: Configuración inicial y planificación

- ***Implementación de la metodología Kanban***

La metodología Kanban es un sistema visual de control de producción que mantiene activo el proceso de reabastecimiento, permitiendo enviar señales cuando es necesario reponer materiales. Estas señales pueden presentarse de diversas formas, como tarjetas, tableros, indicadores visuales o sistemas electrónicos.

Contar con un diseño adecuado del sistema Kanban es clave para una gestión eficiente del proceso productivo. Este enfoque permite producir únicamente lo necesario en el momento oportuno, disminuye los niveles de inventario y elimina tareas que no aportan valor en la cadena de producción, lo que contribuye a reducir significativamente los costos elevados de fabricación [19].

Paso 1: Definir el flujo de trabajo

Se debe establecer un tablero accesible y visible para todos los integrantes del equipo. Cada columna del tablero representa una etapa del proceso, y en él se deben

incluir tantas tarjetas como tareas existan. Los tableros más básicos suelen contar con tres columnas:

- Pendiente
- En proceso
- Completado

Paso 2: Visualizar las etapas del ciclo productivo

El trabajo debe dividirse en partes más pequeñas. A cada una se le asigna una tarjeta que contiene la información relevante de la tarea, la cual se ubica en la fase correspondiente del tablero.

Paso 3: Finalizar tareas antes de iniciar nuevas

Este paso consiste en priorizar las tareas que ya están en ejecución antes de comenzar nuevas actividades. Es importante limitar la cantidad de tareas en progreso para evitar sobrecarga y mantener un flujo ordenado.

Paso 4: Supervisar el flujo de trabajo

Este paso busca mantener un ritmo continuo en la ejecución de tareas. Gracias a la naturaleza visual del tablero, es posible realizar un seguimiento detallado de cada tarjeta y obtener información útil para la gestión del proceso.

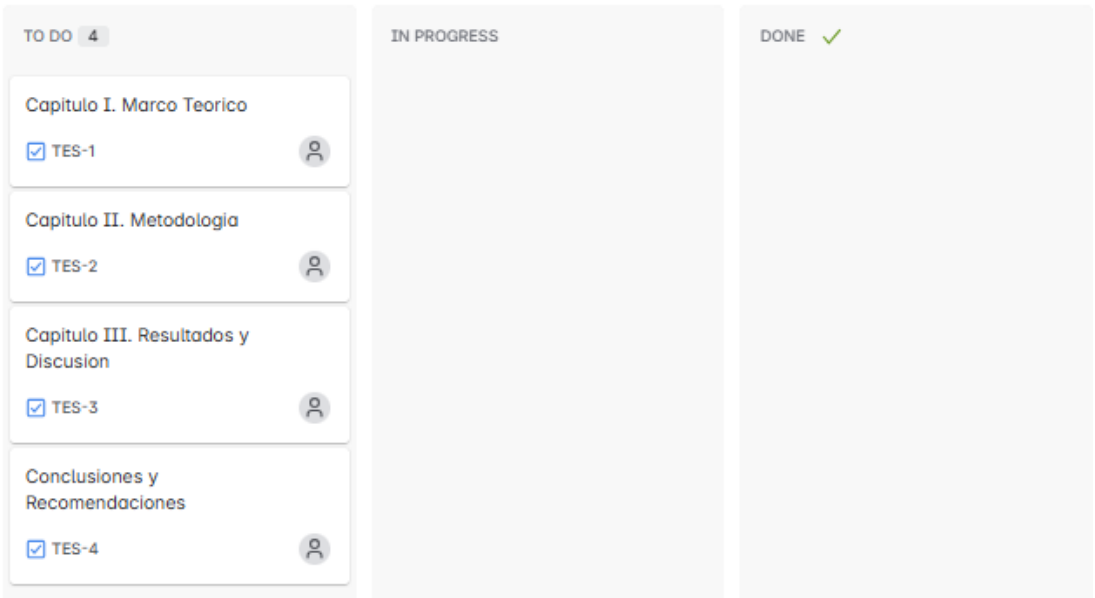


Figura 3. .Tablero Kanban Inicial

En la Figura 1, se observa que el tablero mostrado representa la metodología Kanban para gestión de tareas del proyecto de tesis, organizando el trabajo en tres columnas: **TO DO, IN PROGRESS** y **DONE** .Cada capítulo de la investigación está asignado como una tarjeta individual con iconos de usuario, permitiendo visualizar el progreso del trabajo de investigación de manera ágil y organizada, facilitando el seguimiento y control del avance en cada etapa del desarrollo de la aplicación multiplataforma para gestión de RAEE .

Tarea 2: Levantamiento de requerimientos y análisis

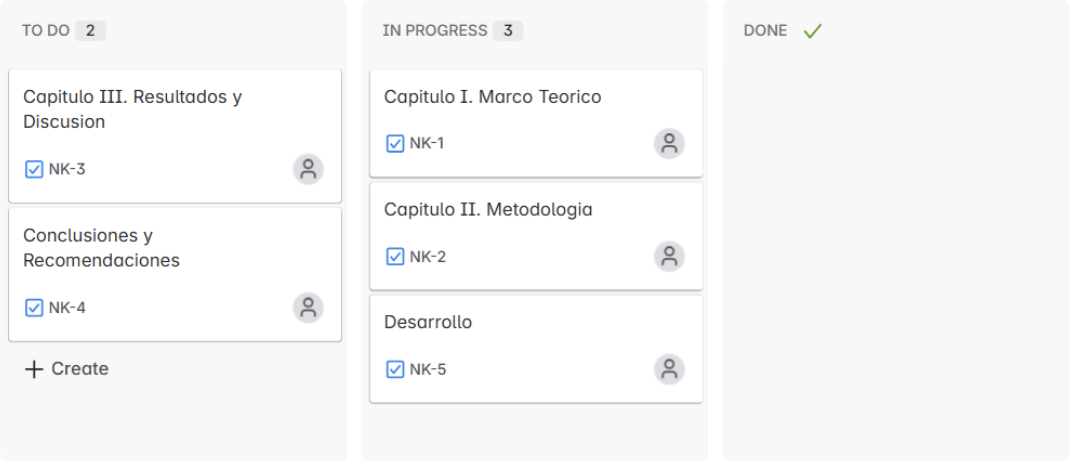


Figura 4. Tablero Kanban (Proceso en Desarrollo)

En la Figura 4, se evidencia que en esta fase de documentación académica se ocupó metodología Kanban para gestión de tareas que evidencia el progreso estructurado de la elaboración de la tesis, donde se observa la organización por capítulos distribuidos en columnas TO DO, IN PROGRESS y DONE, utilizando códigos de identificación para cada componente del documento, aplicando asignación de responsabilidades mediante avatars, y configurando seguimiento visual del avance que permite monitorear eficientemente el desarrollo de la documentación académica del sistema RAEE, demostrando un enfoque sistemático para completar todos los elementos requeridos en la investigación.

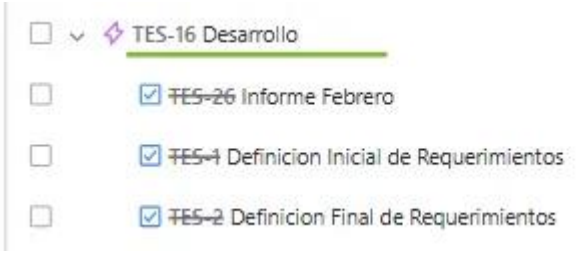


Figura 5. Desarrollo

En la Figura 5, se evidencia la fase de documentación académica donde se ocupó la misma metodología Kanban mostrando que dentro de la etapa de "Desarrollo" se encuentran tareas específicas como " Desarrollo", "Definición Inicial de Requerimientos" y "Definición Final de Requerimientos", demostrando que el levantamiento de requerimientos forma parte integral del proceso de desarrollo del sistema

Levantamiento de Requerimientos

El levantamiento de requerimientos se realizó siguiendo la norma IEEE 830 (IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications) [19], que establece el estándar para la especificación de requisitos de software. Esta norma proporciona un marco estructurado para documentar de manera clara, completa y verificable los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de gestión de RAEE, Anexo C.

La aplicación de la norma IEEE 830 garantizó que los requisitos fueran:

Correctos: Cada requisito representa fielmente las necesidades identificadas

No ambiguos: Redactados de forma clara y precisa para evitar interpretaciones múltiples

Completos: Cubren todas las funcionalidades necesarias para el sistema

Consistentes: Sin contradicciones entre requisitos

Verificables: Pueden ser validados mediante pruebas específicas

Modificables: Estructurados para facilitar cambios futuros

Trazables: Vinculados a su origen y objetivos del sistema

Definición de personas involucradas

El presente proyecto fue ejecutado con la colaboración de varios actores clave, cuyas funciones y participación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Personas Involucradas

Nombre	**Rol dentro del proyecto**	**Institución/Entidad**
Ing. Fernando Ibarra	Tutor del proyecto de titulación	Universidad Técnica de Ambato
Katerin Cecen	Desarrolladora del sistema	Universidad Técnica de Ambato
Ing. Patricio Córdova	Miembro del proyecto de investigación	Universidad Técnica de Ambato
OLC Group	Entidad beneficiaria principal del sistema	Empresa privada

Cada una de estas personas e instituciones desempeñó un papel fundamental en el desarrollo e implementación del sistema propuesto, contribuyendo con sus conocimientos, experiencia y recursos para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Tabla 6. Descripción de títulos de requerimientos

Campo	**Descripción**
Código	Identificador único del requerimiento, con la siguiente estructura: RF0-Número
Descripción	Explicación del requerimiento funcional esperado en el sistema
Prioridad	Nivel de urgencia para su implementación. Escala: Alta, Media, Baja
Riesgo	Nivel de impacto en caso de falla. Escala: Alto, Medio, Bajo

- ***Requerimientos funcionales***

Los requerimientos funcionales del sistema de gestión de información para RAEE fueron identificados a partir del análisis de las necesidades de las instituciones participantes y los objetivos de la investigación. Estos requerimientos definen las funcionalidades específicas que debe cumplir el sistema para satisfacer las expectativas de los usuarios finales y contribuir efectivamente a la gestión sostenible de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Tabla 7. Requerimientos Funcionales

Código	Descripción	Prioridad	Riesgo
RF01	El sistema debe permitir el registro de aparatos eléctricos y electrónicos con campos como: código, producto, categoría, cantidad, peso, origen, estado, descripción, empresa y fecha de ingreso.	Alta	Medio
RF02	El sistema debe permitir la creación, edición y eliminación de usuarios por parte del superusuario.	Alta	Medio
RF03	El sistema debe gestionar roles diferenciados: Superusuario, Administrador y Usuario normal.	Alta	Bajo
RF04	El sistema debe permitir la autenticación mediante usuario y contraseña.	Alta	Alto
RF05	El sistema debe permitir la recuperación de contraseña a través del correo electrónico registrado.	Media	Medio
RF06	El sistema debe generar reportes filtrables por empresa, categoría, estado del aparato y fechas.	Alta	Medio
RF07	El sistema debe registrar los datos de las empresas que entregan dispositivos: RUC, razón social, representante legal, correo, teléfono y tipo de empresa.	Alta	Bajo
RF08	El sistema debe contar con un panel de administración con indicadores clave (total recolectado, peso total, por categoría, etc.).	Alta	Medio
RF09	El sistema debe poder ser accedido desde múltiples dispositivos (diseño responsive).	Alta	Bajo

- ***Requerimientos No Funcionales***

Los requerimientos no funcionales del sistema de gestión de información para RAEE definen las características de calidad y rendimiento necesarias para garantizar su operación eficiente. El sistema debe ser rápido y confiable, con tiempos de respuesta cortos y alta disponibilidad para los usuarios. Debe funcionar correctamente en diferentes dispositivos (computadoras, tablets, smartphones) y sistemas operativos, manteniendo una interfaz fácil de usar e intuitiva. La seguridad es fundamental, implementando controles de acceso apropiados y protección de datos. El sistema debe ser escalable para crecer según las necesidades futuras, mantener la integridad de la información, y permitir su integración con otros sistemas institucionales. Adicionalmente, debe cumplir con las normativas aplicables de protección de datos y gestión ambiental, ser fácil de mantener y actualizar, y ofrecer flexibilidad para adaptarse a los requerimientos específicos de cada institución participante en el proyecto.

Tabla 8. Requerimientos No Funcionales

Código	Descripción	Prioridad	Riesgo
RNF01	El sistema debe estar disponible al menos el 95% del tiempo para garantizar su operatividad.	Alta	Medio
RNF02	El sistema debe tener tiempos de respuesta menores a 2 segundos para operaciones comunes (registro, consulta).	Alta	Bajo
RNF03	El sistema debe implementar mecanismos de seguridad como el cifrado de contraseñas y validación de sesiones.	Alta	Alto
RNF04	El sistema debe tener una interfaz intuitiva y accesible para usuarios con conocimientos técnicos limitados.	Alta	Bajo
RNF05	El sistema debe permitir su ejecución desde navegadores modernos (Chrome, Firefox, Edge).	Media	Bajo
RNF06	El sistema debe ser desarrollado utilizando tecnologías que faciliten la escalabilidad futura del mismo.	Media	Medio
RNF07	El sistema debe asegurar que la información ingresada no se pierda en caso de errores o fallos durante el registro.	Alta	Medio
RNF08	El sistema debe cumplir con las políticas de protección de datos establecidas por la institución.	Alta	Alto

- ***Historias de Usuario***

Gestión de Usuarios

Tabla 9. Historia de Usuario (Gestión de Usuario)

ID	Como	Quiero	Para	Criterios de Aceptación	Prioridad
HU-01	Administrador	Crear nuevos usuarios en el sistema	Permitir que más personas accedan al sistema de gestión de RAEE	- Puede ingresar correo, nombre, cédula, teléfono - Puede asignar una empresa al usuario - Puede establecer una contraseña inicial - El sistema valida que el correo no esté duplicado	Alta
HU-02	Administrador	Editar información de usuarios existentes	Mantener actualizada la información de contacto y datos personales	- Puede modificar nombre, correo, teléfono - Puede cambiar la empresa asignada - Puede actualizar la contraseña (opcional) - Los cambios se guardan correctamente	Alta
HU-03	Administrador	Eliminar usuarios del sistema	Remover acceso de personas que ya no requieren usar el sistema	- Puede seleccionar un usuario para eliminar -El usuario se elimina completamente de la base de datos - No puede eliminar usuarios con ID 1 y 2 (usuarios del sistema)	Media
HU-04	Administrador	Ver lista de todos los usuarios registrados	Tener una vista general de quién tiene acceso al sistema	- Ve una tabla con todos los usuarios - La tabla muestra: ID, correo, nombre, cédula, teléfono, empresa - Puede buscar y filtrar usuarios - La tabla se actualiza automáticamente	Media

En Tabla 9 tabla incluye las funcionalidades básicas para administrar los usuarios del sistema, permitiendo crear nuevos usuarios con su información personal y de contacto, editar datos existentes, eliminar usuarios cuando sea necesario y mantener una vista

general de todos los usuarios registrados en el sistema junto con sus empresas asociadas.

Registro de RAEE

Tabla 10. Historia de Usuario (Registro RAEE)

ID	Como	Quiero	Para	Criterios de Aceptación	Prioridad
HU-05	Usuario del sistema	Registrar un nuevo aparato eléctrico o electrónico	Documentar los RAEE que ingresan al sistema	- Puede ingresar información básica del aparato - Puede especificar el tipo/categoría del RAEE - Puede registrar el peso del aparato - El sistema genera un registro único	Alta
HU-06	Usuario del sistema	Consultar RAEE registrados anteriormente	Revisar el historial y estado de los aparatos registrados	- Puede ver una lista de todos los RAEE registrados - Puede buscar por diferentes criterios - Ve información detallada de cada RAEE - Puede filtrar por fechas de registro	Alta
HU-07	Usuario del sistema	Actualizar el estado de un RAEE	Hacer seguimiento al procesamiento del aparato	- Puede cambiar el estado (recibido, en proceso, reciclado, etc.) -Puede agregar observaciones sobre el cambio - El sistema registra fecha - Queda historial de todos los cambios	Media
HU-08	Usuario del sistema	Clasificar RAEE por categorías	Organizar los residuos según su tipo para mejor gestión	- Puede asignar categoría (electrodomésticos, informática, etc.) -Puede especificar subcategorías - La clasificación ayuda en reportes posteriores - Puede reclasificar si es necesario	Media

Esta Tabla 10, abarca las funcionalidades principales del sistema relacionadas con el manejo de residuos electrónicos, incluyendo el registro inicial de nuevos aparatos, la consulta y búsqueda de RAEE previamente ingresados, la actualización de estados durante el proceso de gestión y la clasificación por categorías para facilitar el control y seguimiento de los residuos.

Gestión de Empresas/Instituciones

Tabla 11. Historia de Usuario (Gestión de Empresas)

ID	Como	Quiero	Para	Criterios de Aceptación	Prioridad
HU-09	Administrador	Registrar empresas e instituciones	Identificar las fuentes generadoras de RAEE	- Puede agregar nombre de la empresa - Puede ingresar datos de contacto - Puede especificar el tipo de institución - La empresa queda disponible para asignar a usuarios	Alta
HU-10	Administrador	Editar información de empresas	Mantener actualizada la información institucional	- Puede modificar nombre y datos de contacto - Puede cambiar el tipo de institución - Los cambios se reflejan en los usuarios asociados	Media
HU-11	Usuario del sistema	Ver qué empresa está asociada a cada RAEE	Identificar la procedencia de los residuos electrónicos	- Cada RAEE muestra la empresa de origen - Puede filtrar RAEE por empresa - Puede generar reportes por institución	Media

En Tabla 11, la tabla describe la gestión de las empresas e instituciones que participan en el sistema, permitiendo registrar nuevas organizaciones con sus datos de contacto, editar información institucional, asociar los RAEE con sus empresas de origen y mantener el control sobre qué institución genera cada tipo de residuo electrónico.

a. Interfaz y Usabilidad

Tabla 12. Historia de Usuario (Interfaz)

ID	Como	Quiero	Para	Criterios de Aceptación	Prioridad
HU-12	Usuario del sistema	Acceder al sistema desde diferentes dispositivos	Trabajar tanto desde computadora como desde dispositivos móviles	- La interfaz se adapta a pantallas pequeñas >- La navegación es intuitiva en todos los dispositivos - Los formularios son fáciles de usar en dispositivos táctiles	Alta
HU-13	Usuario del sistema	Buscar y filtrar información fácilmente	Encontrar rápidamente los datos que necesita	- Puede usar filtros en las tablas - La búsqueda es rápida y eficiente - Puede combinar múltiples criterios de búsqueda - Los resultados se muestran inmediatamente	Alta
HU-14	Usuario del sistema	Navegar de forma intuitiva por el sistema	Usar el sistema sin necesidad de capacitación extensa	- Los menús son claros y organizados - Los iconos y botones son comprensibles - La navegación sigue patrones estándar	Media

En Tabla 12, la tabla se enfoca en la experiencia del usuario y la accesibilidad del sistema, cubriendo el acceso multiplataforma desde diferentes dispositivos, las funcionalidades de búsqueda y filtrado, las confirmaciones de seguridad para evitar errores y la navegación intuitiva que facilite el uso del sistema sin requerir capacitación extensa.

b. Diseño del sistema

- ***Proceso de recolección y registro RAEE***

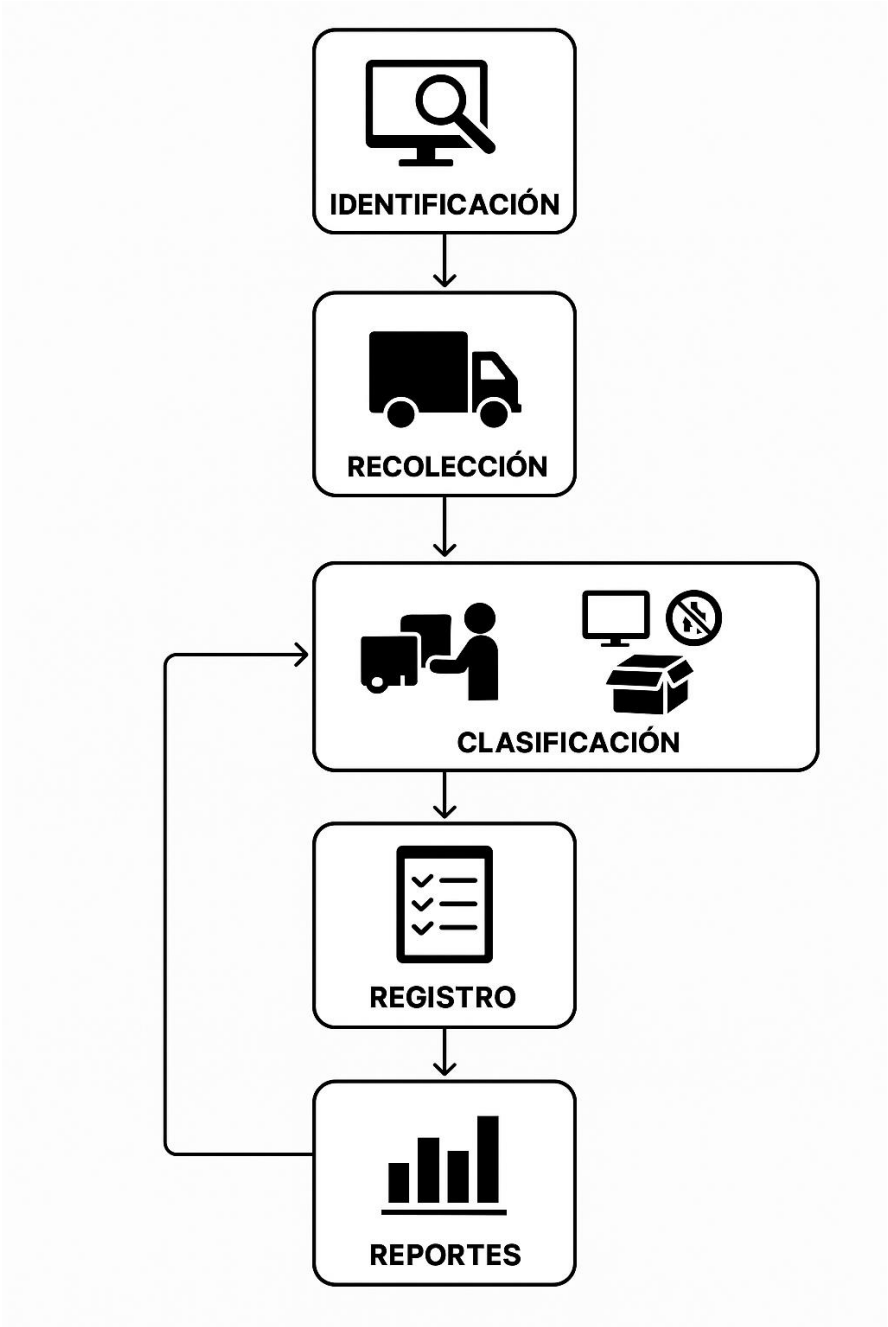


Figura 6. Proceso de recolección y registro Raee

- ***Modelado***

Diagrama De secuencia

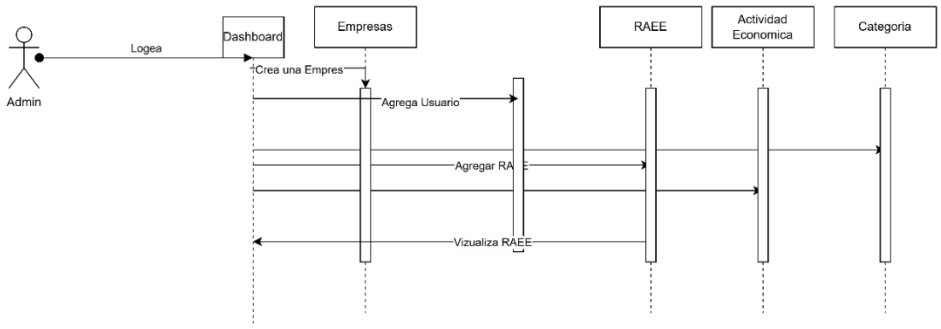


Figura 7. Diagrama de Secuencia Admin

En la Figura 7, el diagrama de secuencia presentado ilustra el flujo de interacciones entre el actor Administrador y los diferentes componentes del sistema de gestión de información para RAEE. La secuencia operacional inicia cuando el administrador realiza el proceso de autenticación (Login), lo cual le otorga acceso al panel de control principal (Dashboard). Desde este punto central, el administrador ejecuta tres procesos fundamentales de manera secuencial: primero, interactúa con el módulo de Empresas donde realiza las operaciones de "Crea una Empresa" y "Agrega Usuario", estableciendo así la estructura organizacional del sistema; segundo, procede a la gestión directa de los residuos mediante la operación "Agregar RAEE" en el módulo correspondiente; y tercero, culmina el flujo con la visualización de los datos registrados a través de "Vizualiza RAEE". El diagrama también evidencia la presencia de los módulos complementarios de Actividad Económica y Categoría, los cuales participan en el proceso de clasificación y caracterización de los RAEE, aunque su interacción específica se representa mediante líneas discontinuas que sugieren su disponibilidad durante todo el proceso operativo.

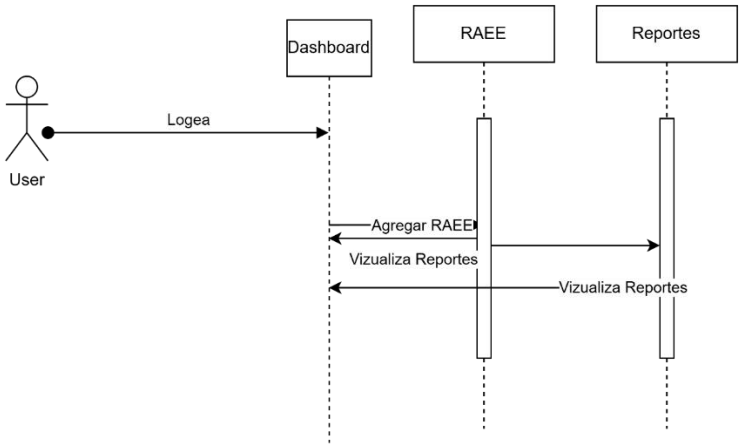


Figura 8. Diagrama de Secuencia User

En la Figura 8, el diagrama de secuencia presentado modela la interacción del actor User (Usuario Normal) con los componentes principales del sistema de gestión de RAEE. El flujo operacional se inicia cuando el usuario ejecuta la acción "Logea" para autenticarse en el sistema, obteniendo acceso al Dashboard que funciona como interfaz central. Desde este punto, el usuario puede realizar dos operaciones fundamentales: primero, interactúa con el módulo RAEE mediante la función "Agregar RAEE", permitiéndole registrar nuevos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en el sistema; posteriormente, el usuario puede acceder al módulo de Reportes donde ejecuta la operación "Vizualiza Reportes" para consultar la información consolidada.

Es importante destacar que existe una comunicación bidireccional entre los módulos RAEE y Reportes, evidenciada por el mensaje "Vizualiza Reportes" que fluye del módulo RAEE hacia Reportes, lo cual sugiere que los datos registrados en RAEE alimentan directamente los reportes disponibles para visualización, garantizando así la integridad y actualización de la información presentada al usuario.

Diagrama de Casos de Uso

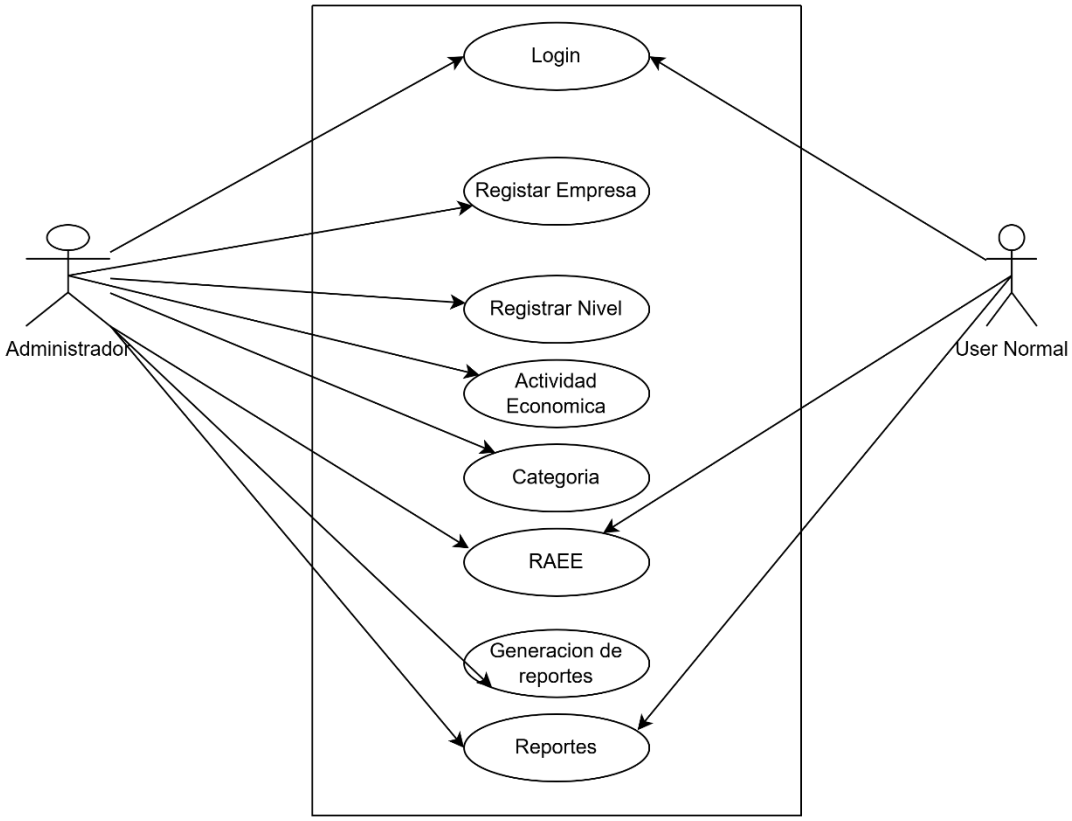


Figura 9. Diagrama de Casos de uso

En la Figura 9, el diagrama de casos de uso representa un sistema de gestión de RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) con dos actores principales: un Administrador que tiene acceso completo a todas las funcionalidades del sistema incluyendo el login, registro de empresas, gestión de roles, actividades económicas, categorías, gestión directa de RAEE y generación de reportes; y un Usuario Normal que únicamente puede acceder al módulo de login, evidenciando una arquitectura de permisos diferenciados donde el administrador ejerce control total sobre las operaciones de gestión de residuos electrónicos mientras que los usuarios regulares tienen acceso restringido al sistema.

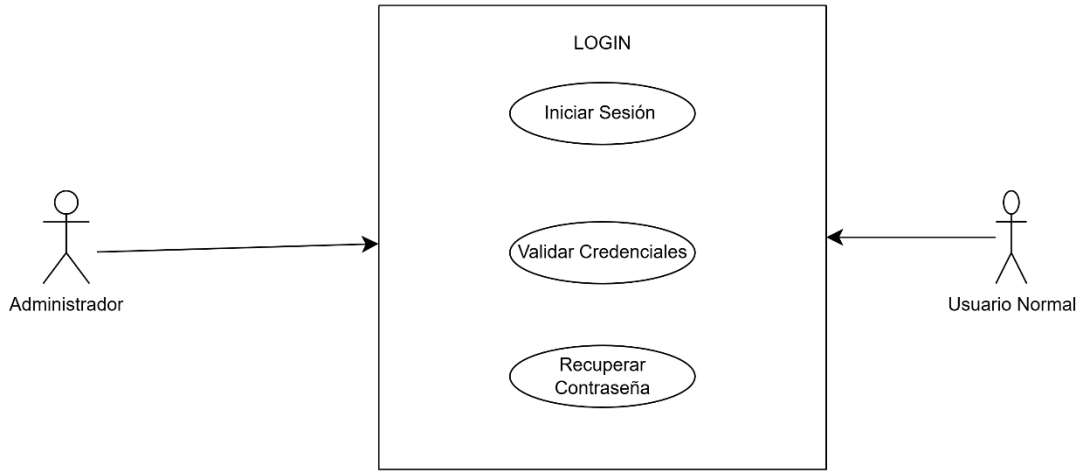


Figura 10. Diagrama de Caso de Uso Login

En la Figura 10, el diagrama de casos de uso representa el módulo de autenticación (LOGIN) del sistema de gestión de RAEE, mostrando las funcionalidades básicas de acceso al sistema. El diagrama ilustra que tanto el Administrador como el Usuario Normal pueden acceder a tres casos de uso principales dentro del módulo de login: "Iniciar Sesión", que permite el acceso al sistema mediante credenciales; "Validar Credenciales", que verifica la autenticidad de los datos ingresados; y "Recuperar Contraseña", que proporciona un mecanismo de recuperación en caso de olvido de credenciales. La representación sigue la notación estándar UML donde los actores se representan mediante figuras de palitos, los casos de uso como óvalos dentro del límite del sistema (rectángulo), y las asociaciones mediante líneas que conectan actores con casos de uso, indicando que ambos tipos de usuarios tienen acceso idéntico a las funcionalidades de autenticación, lo cual es consistente con los principios de diseño de sistemas donde la autenticación es un proceso unificado independiente del rol del usuario [49].

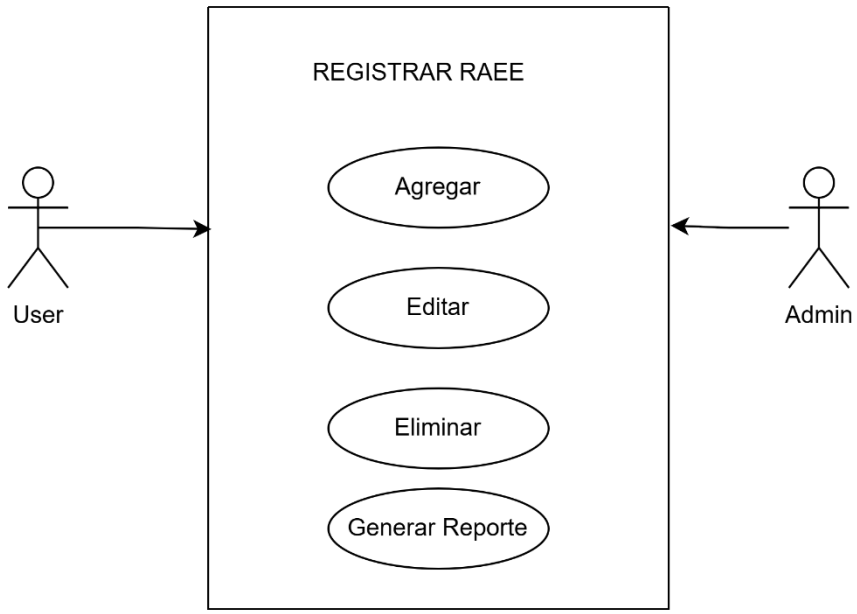


Figura 11. Diagrama de Caso de Uso Gestión RAEE

En la Figura 11, el diagrama de casos de uso ilustra el módulo "REGISTRAR RAEE" del sistema de gestión, donde se definen las operaciones CRUD (Create, Read, Update, Delete) disponibles para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. El diagrama muestra que tanto el actor User (Usuario Normal) como el Admin (Administrador) tienen acceso a las cuatro funcionalidades principales del módulo: "Agregar" permite el registro de nuevos RAEE en el sistema; "Editar" facilita la modificación de registros existentes; "Eliminar" posibilita la baja de registros cuando sea necesario; y "Generar Reporte" proporciona la capacidad de crear informes consolidados de los RAEE registrados. La estructura del diagrama sugiere una política de permisos horizontal donde ambos roles tienen acceso completo a las operaciones del módulo, lo cual podría indicar que el control de acceso se gestiona a nivel de autenticación o mediante validaciones internas del sistema, siguiendo los principios de diseño de interfaces uniformes donde la diferenciación de permisos se implementa en la lógica de negocio más que en la capa de presentación.

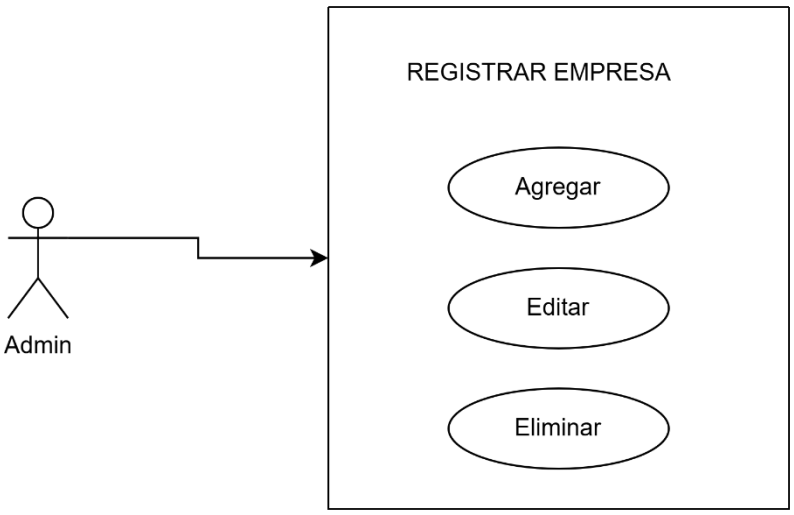


Figura 12. Diagrama de Caso de Uso Gestión Empresa

El diagrama en Figura 12, de casos de uso presentado ilustra la funcionalidad del módulo "Registrar Empresa" dentro del sistema de gestión de información multiplataforma para RAEE, donde el actor principal es el Administrador (Admin), quien posee privilegios para gestionar de manera integral la información de las empresas participantes en el programa de economía circular de aparatos eléctricos y electrónicos. Este módulo comprende tres casos de uso fundamentales: Agregar Empresa, que permite al administrador registrar nuevas entidades completando formularios con datos como razón social, RUC, dirección y contacto; Editar Empresa, que facilita la modificación de información de empresas ya registradas mediante la actualización de campos específicos; y Eliminar Empresa, que posibilita la remoción de entidades del sistema tras verificar que no existan RAEE asociados activos. Este conjunto de funcionalidades es esencial para mantener la trazabilidad de todas las entidades generadoras de RAEE, asegurar el control de calidad del registro empresarial, facilitar el cumplimiento normativo ante autoridades competentes, y establecer una red confiable de participantes en el ecosistema de gestión de residuos electrónicos, alineándose directamente con los objetivos específicos del proyecto I+D+i 2024 DIDE - UTA de mejorar la eficiencia y trazabilidad en la gestión de RAEE.

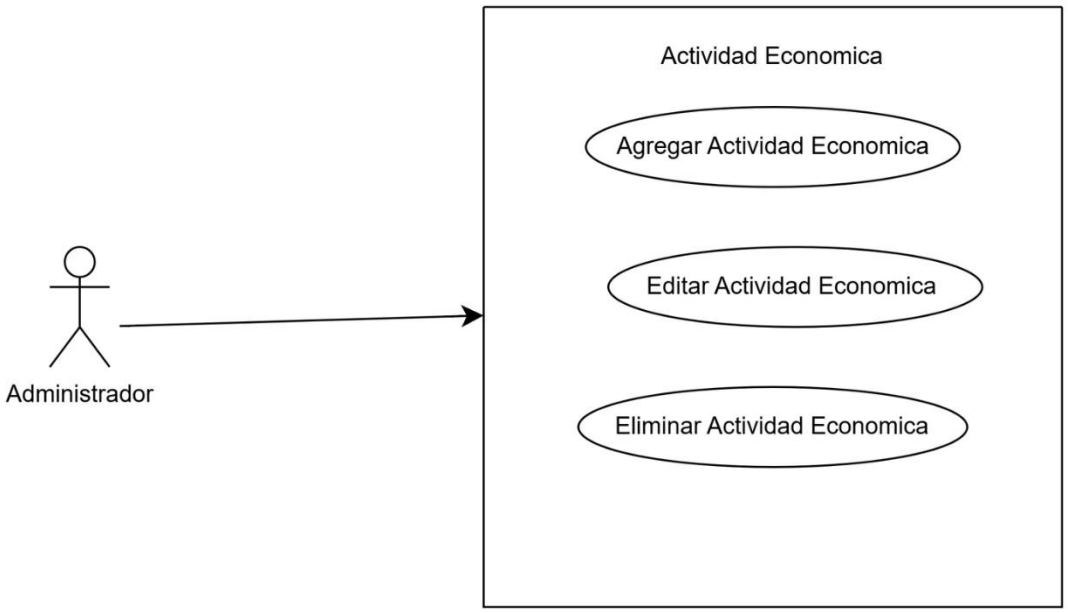


Figura 13. Diagrama de Caso de Uso Actividad Económica

El diagrama en la Figura 13, de casos de uso "Actividad Económica" representa el módulo del sistema de gestión de información para RAEE que permite al Administrador gestionar las diferentes actividades económicas de las empresas participantes en el programa de economía circular. Este módulo comprende tres casos de uso fundamentales: "Agregar Actividad Económica", que permite al administrador registrar nuevas actividades económicas en el sistema especificando sectores como manufactura, comercialización, servicios tecnológicos, entre otros relacionados con aparatos eléctricos y electrónicos; "Editar Actividad Económica", que facilita la modificación de la información de actividades ya registradas para mantener actualizada la clasificación sectorial de las empresas; y "Eliminar Actividad Económica", que posibilita la remoción de actividades obsoletas o incorrectas del catálogo del sistema. Esta funcionalidad es esencial para la correcta categorización y trazabilidad de los RAEE según su origen sectorial, permitiendo generar reportes específicos por tipo de actividad económica, facilitar el cumplimiento de normativas ambientales que requieren clasificación por sectores, y optimizar las estrategias de recolección y tratamiento de residuos electrónicos según las características particulares de cada actividad económica, contribuyendo así a los objetivos del proyecto I+D+i 2024 DIDE - UTA de mejorar la eficiencia en la gestión de RAEE mediante una clasificación sectorial precisa y actualizada.

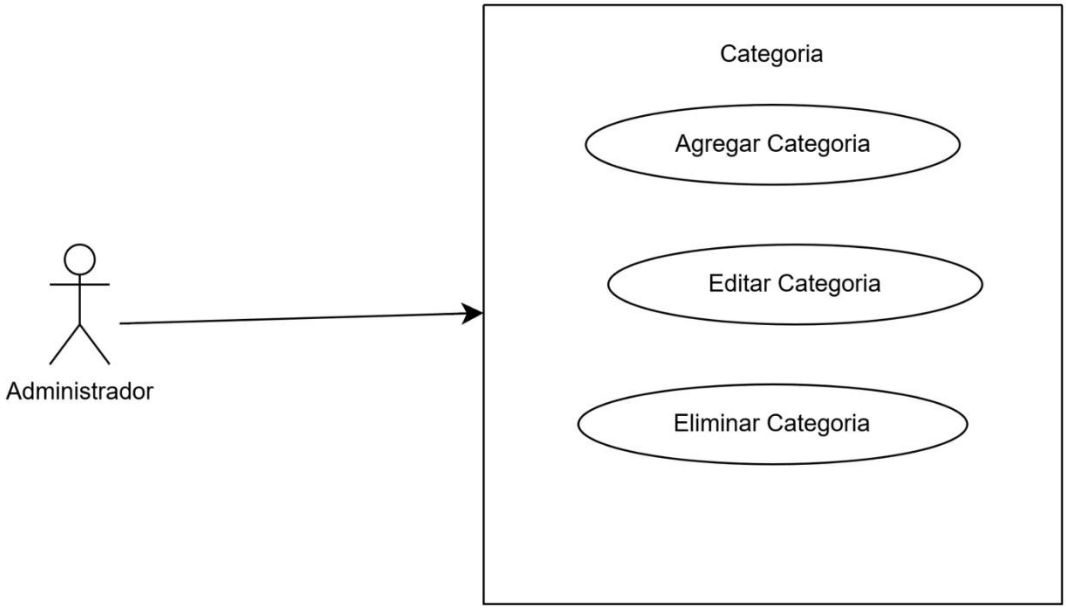


Figura 14. Diagrama Caso de Uso Categoria

En la Figura 14, el diagrama de casos de uso "Categoría" ilustra el módulo del sistema de gestión de información para RAEE que permite al Administrador gestionar las diferentes categorías de aparatos eléctricos y electrónicos dentro del programa de economía circular. Este módulo comprende tres casos de uso fundamentales: "Agregar Categoría", que permite al administrador registrar nuevas categorías de RAEE en el sistema siguiendo las clasificaciones internacionales estándar como grandes electrodomésticos, pequeños electrodomésticos, equipos de informática y telecomunicaciones, aparatos electrónicos de consumo, aparatos de alumbrado, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre, productos sanitarios, instrumentos de vigilancia y control, y máquinas expendedoras; "Editar Categoría", que facilita la modificación de las categorías existentes para mantener actualizada la clasificación según normativas internacionales o cambios en la tipología de residuos; y "Eliminar Categoría", que posibilita la remoción de categorías obsoletas o incorrectas del catálogo del sistema. Esta funcionalidad es crucial para la correcta clasificación y trazabilidad de los RAEE según su tipología, permitiendo generar reportes estadísticos precisos por categoría de aparatos, facilitar el cumplimiento de las normativas ambientales que requieren clasificación específica de residuos electrónicos, optimizar los procesos de recolección y tratamiento

diferenciado según las características de cada categoría, y contribuir a los objetivos del proyecto I+D+i 2024 DIDE - UTA de mejorar la eficiencia en la gestión de RAEE mediante una categorización técnica precisa que facilite la implementación de estrategias de economía circular adaptadas a cada tipo de aparato eléctrico y electrónico.

Diagrama de Base de Datos

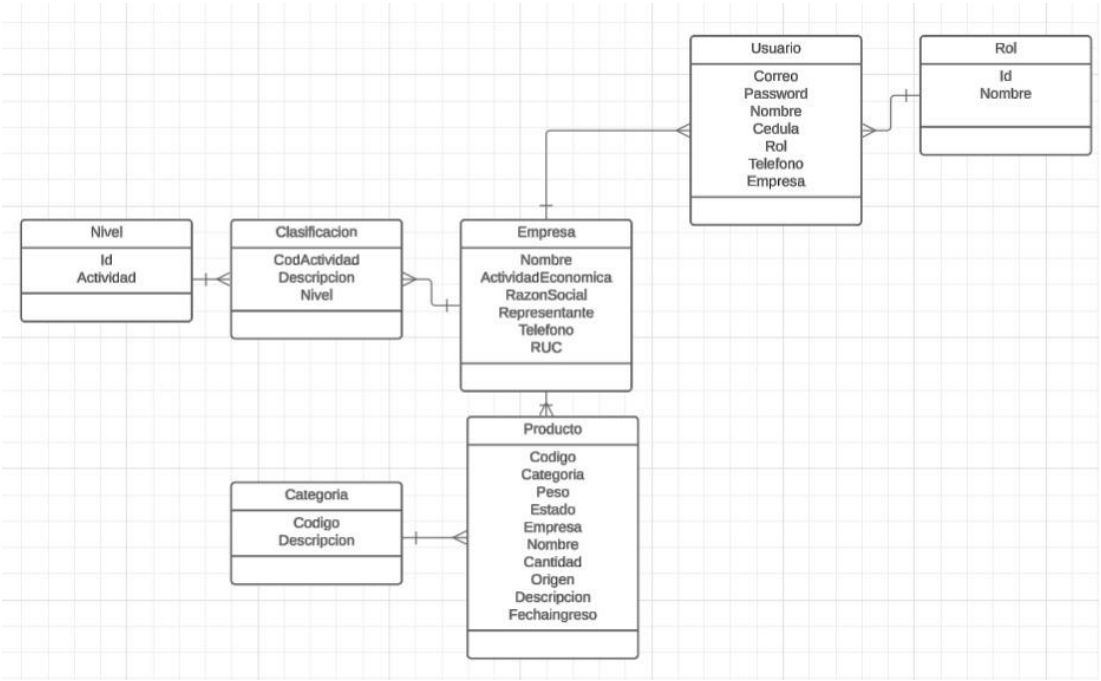


Figura 15. Diagrama DB

El diagrama de la Figura 15 , Este diagrama representa la estructura de la base de datos del sistema de gestión de RAEE, mostrando cómo se organizan y relacionan los diferentes tipos de información.

Entidades Principales y sus Relaciones

Usuario y Rol El sistema maneja usuarios con diferentes niveles de acceso. Cada usuario tiene información básica como correo, contraseña, nombre, cédula, teléfono y está asociado a una empresa específica. Además, cada usuario tiene asignado un rol que determina qué acciones puede realizar en el sistema (por ejemplo, administrador o usuario regular).

Empresa Las empresas son organizaciones que participan en la gestión de RAEE. Cada empresa tiene datos completos como su nombre comercial, actividad económica, razón social, representante legal, teléfono y RUC (registro tributario). Esta información es importante para generar reportes y mantener la trazabilidad de los residuos.

Clasificación y Nivel El sistema incluye una clasificación jerárquica con diferentes niveles. Esto permite categorizar las empresas según su tipo de actividad o nivel de riesgo. Por ejemplo, una empresa puede estar clasificada en un nivel específico según su actividad económica o el tipo de residuos que maneja.

Categoría Las categorías definen los diferentes tipos de aparatos eléctricos y electrónicos. Cada categoría tiene un código único y una descripción que ayuda a identificar el tipo de residuo (como electrodomésticos, equipos de cómputo, dispositivos móviles, etc.).

Producto (RAEE) Esta es la entidad central del sistema, donde se registra cada aparato eléctrico o electrónico. Contiene información detallada como:

- Código único de identificación
- Categoría a la que pertenece
- Peso del aparato
- Estado actual (recibido, en proceso, reciclado, etc.)
- Empresa responsable
- Nombre y descripción del aparato
- Cantidad de unidades
- Origen del aparato
- Fecha de ingreso al sistema

Funcionamiento del Sistema

La estructura permite hacer un seguimiento completo desde que un aparato ingresa al sistema hasta su disposición final. Los usuarios registran los RAEE en sus respectivas empresas, clasificándolos por categorías y manteniendo actualizado su estado. Esto facilita generar reportes detallados sobre la cantidad de residuos procesados, su peso total, y el progreso en el manejo de cada tipo de aparato.

La relación entre todas estas entidades asegura que se mantenga la trazabilidad completa y se pueda consultar información como: qué empresa entregó ciertos residuos, qué usuario los registró, en qué categoría se clasificaron, y cuál es su estado

- ***Prototipado***

Para este proyecto se desarrolló la etapa de prototipado no funcional y recolección de retroalimentación continua con los stakeholders del sistema de gestión de RAEE. Esta fase siguió los principios Kanban de flujo continuo y entrega de valor incremental, permitiendo validar y refinar la interfaz de usuario mediante iteraciones rápidas sin interrumpir el flujo de desarrollo establecido.

El proceso de prototipado se estructuró siguiendo las mejores prácticas de diseño de interfaces para sistemas de gestión empresarial, integrado al flujo de trabajo Kanban del proyecto. Se consideraron las necesidades específicas de los usuarios del proyecto de investigación I+D+i 2024 DIDE - UTA, aplicando los principios de visualización del trabajo y límites de trabajo en progreso (WIP).

Se utilizó la herramienta Figma para el desarrollo de prototipos de alta fidelidad, incorporada como una columna adicional en el tablero Kanban del proyecto. Esto permitió que cada prototipo fluyera desde la conceptualización hasta la validación del stakeholder de manera continua, sin esperar ceremonias de revisión programadas.

Flujo de trabajo aplicado:

- Priorización dinámica: Prototipos ordenados según feedback inmediato
- Desarrollo continuo: Sin iteraciones fijas, entrega cuando esté listo

- Validación inmediata: Incorporación de cambios sin demoras ceremoniales
- Mejora iterativa: Ajustes basados en métricas de usabilidad

Se desarrollaron prototipos para las principales interfaces del sistema, organizados según los módulos funcionales identificados en el análisis de requerimientos y gestionados a través del tablero Kanban establecido. Cada prototipo se movió a través del flujo de trabajo según su estado de completitud y validación con los stakeholders.

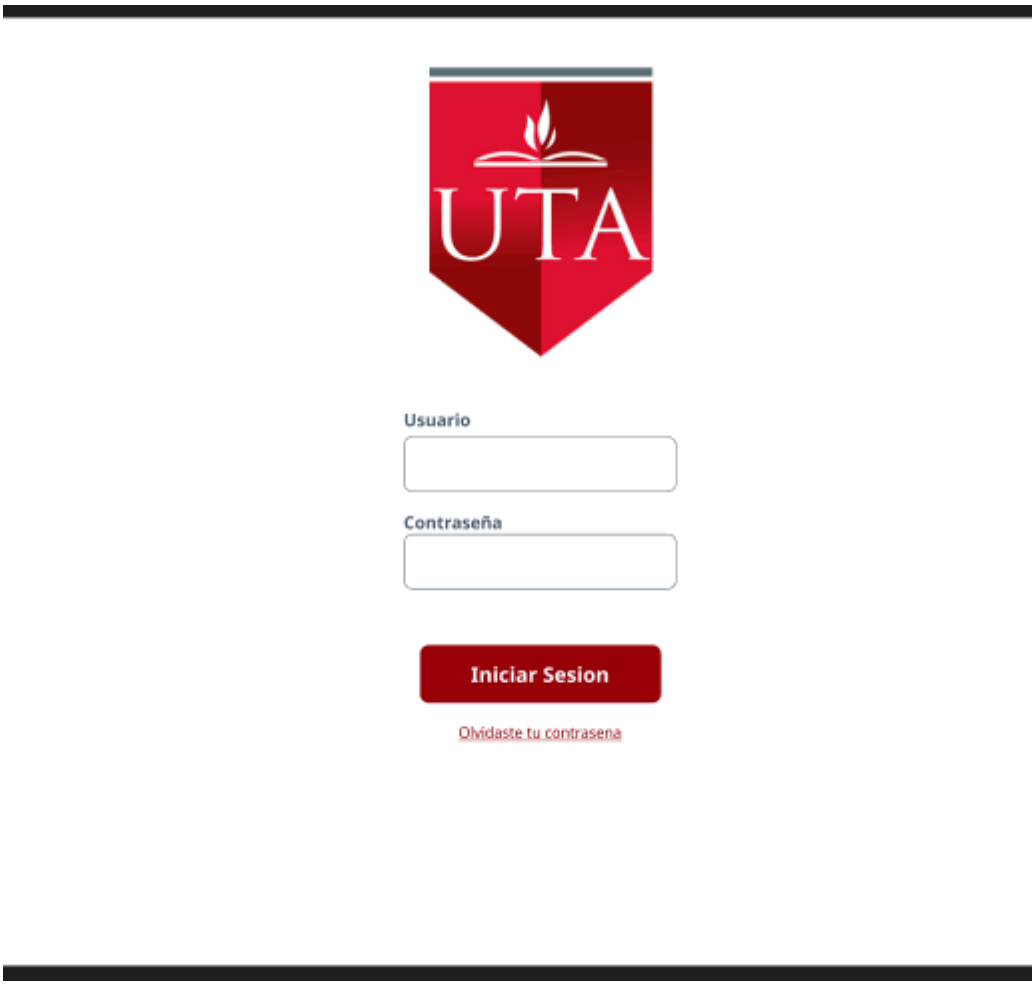


Figura 16. Prototipo No Funcional Login

En Figura 16, muestra la interfaz de login de un sistema de gestión de información para la Universidad Técnica de Ambato (UTA), caracterizada por un diseño limpio y profesional que incluye el logotipo institucional en la parte superior con el distintivo escudo rojo de la universidad, seguido de campos de entrada para "Usuario" y "Contraseña", un botón de "Iniciar Sesión" en color rojo institucional, y un enlace para "Olvidaste tu contraseña", todo enmarcado en un layout minimalista que refleja la

identidad visual de la institución y proporciona una puerta de acceso intuitiva al sistema multiplataforma desarrollado para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) descrito en la investigación.



Figura 17. Prototipo No Funcional Dashboard

En la Figura 17, presenta el prototipo no funcional del dashboard principal del sistema de gestión de RAEE , mostrando una interfaz web estructurada con un menú lateral de navegación que incluye opciones como Usuarios, Empresas, RAEE, Reportes, Actividad, Programar y Categorías, mientras que el área central del dashboard exhibe indicadores clave mediante tarjetas informativas y visualizaciones gráficas representativas como un gráfico circular multicolor, gráficos de barras azules con una barra roja destacada, y un gráfico lineal de tendencias, elementos que en conjunto demuestran el diseño conceptual de la interfaz administrativa del sistema multiplataforma desarrollado para optimizar la trazabilidad y gestión eficiente de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos según los principios de economía circular establecidos en la investigación.

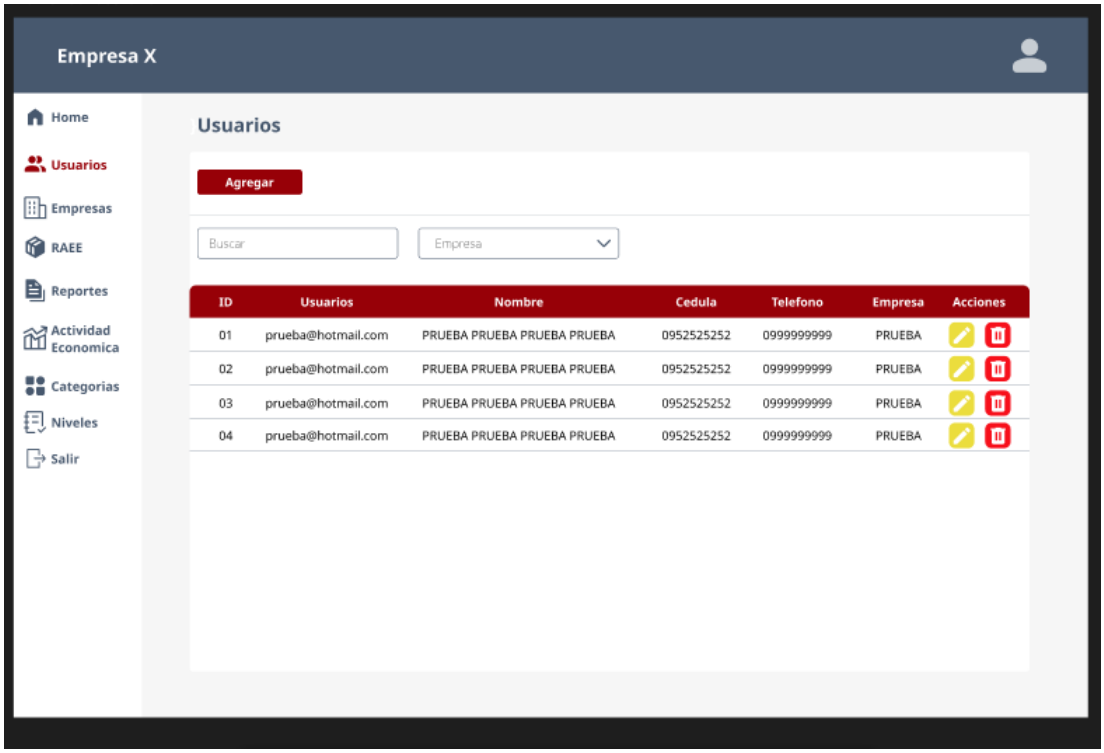


Figura 18. Prototipo No Funcional Tabla Visual

En la Figura 18, muestra el prototipo no funcional de la sección de gestión (usuarios) del sistema, presentando una interfaz administrativa con el mismo menú lateral de navegación de la "Empresa X" y enfocándose en el módulo de "Usuarios" que incluye un botón de "Añadir" en rojo, campos de búsqueda y filtrado, y una tabla detallada que despliega información de usuarios con columnas para ID, Usuario , Teléfono, Empresa, y Acciones, donde cada fila contiene íconos de acción representados por símbolos de edición y eliminación , demostrando así el diseño conceptual para la administración de usuarios dentro del sistema multiplataforma de gestión de RAEE desarrollado como parte de la investigación sobre economía circular en el sector de aparatos eléctricos y electrónicos.

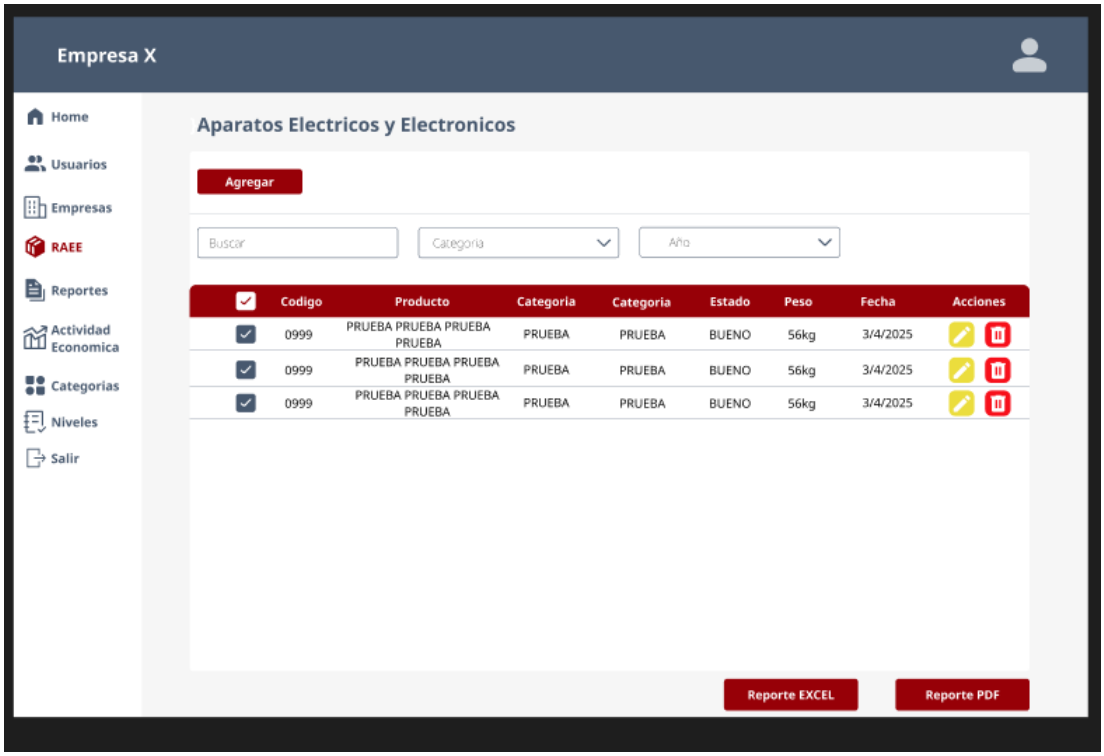


Figura 19- Prototipo No Funcional Modulo RAEE

En la Figura 19, presenta el prototipo no funcional del módulo central "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" del sistema de gestión de RAEE, mostrando una interfaz especializada que incluye el menú lateral de navegación y se enfoca en la gestión específica de residuos electrónicos mediante un botón "Agregar" en rojo, campos de búsqueda y filtros por categoría, y una tabla comprehensiva con columnas para Código, Producto, Categoría, Empresa, Estado, Peso y Fecha, complementada con íconos de acciones de edición y eliminación por fila, así como botones inferiores para "Exportar EXCEL" y "Exportar PDF" que demuestran las funcionalidades de generación de reportes, constituyendo así el núcleo operativo del sistema multiplataforma diseñado para optimizar la trazabilidad y seguimiento de aparatos eléctricos y electrónicos en el marco de la economía circular investigada.

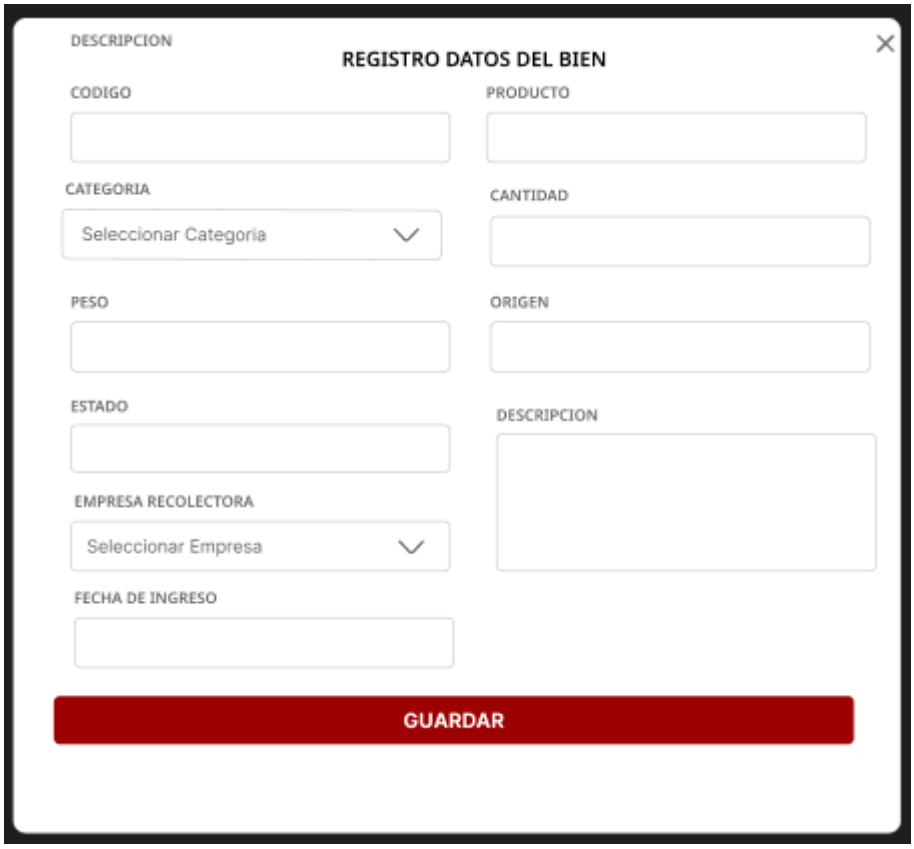


Figura 20. Prototipo Funcional CRUD

En la Figura 20, muestra el prototipo no funcional del formulario modal "REGISTRO DATOS DEL BIEN" del sistema de gestión de RAEE, presentando una ventana emergente con campos estructurados para el ingreso detallado de información de aparatos eléctricos y electrónicos que incluye campos de texto para Código, Producto, Cantidad, Peso, Origen, Estado y Descripción, menús desplegables para "Seleccionar Categoría" y "Seleccionar Empresa" (Empresa Recolectora), un campo de fecha para "Fecha de Ingreso", y un botón "GUARDAR" en rojo institucional en la parte inferior, constituyendo así la interfaz de captura de datos que permite registrar de manera sistemática los RAEE recolectados con todos los atributos necesarios para garantizar la trazabilidad completa del ciclo de vida de los residuos electrónicos según los principios de economía circular establecidos en la investigación, facilitando el seguimiento eficiente desde la recolección hasta la disposición final de los aparatos.

El proceso de validación se llevó a cabo mediante sesiones estructuradas de evaluación de prototipos, aplicando la metodología de evaluación heurística de usabilidad de Nielsen [26]. y técnicas de pensamiento en voz alta. Cada sesión tuvo una duración

de 60 minutos y se documentaron las observaciones siguiendo un protocolo estandarizado. Anexo D.

Retroalimentación del Ing. Fernando Ibarra (Tutor):

- Alineación correcta con objetivos académicos del proyecto
- Cobertura completa de requerimientos funcionales identificados
- Estructura modular apropiada para escalabilidad futura

Retroalimentación del Ing. Patricio Córdova (Investigador I+D+i):

- Cumplimiento con estándares de trazabilidad de RAEE
- Integración adecuada con procesos de economía circular
- Potencial para replicación en otros municipios del país

Retroalimentación de usuarios finales:

- Interfaz intuitiva que reduce curva de aprendizaje
- Funcionalidades alineadas con operaciones diarias
- Potencial para mejorar eficiencia en 35% según estimaciones iniciales

c. *Implementación del sistema*

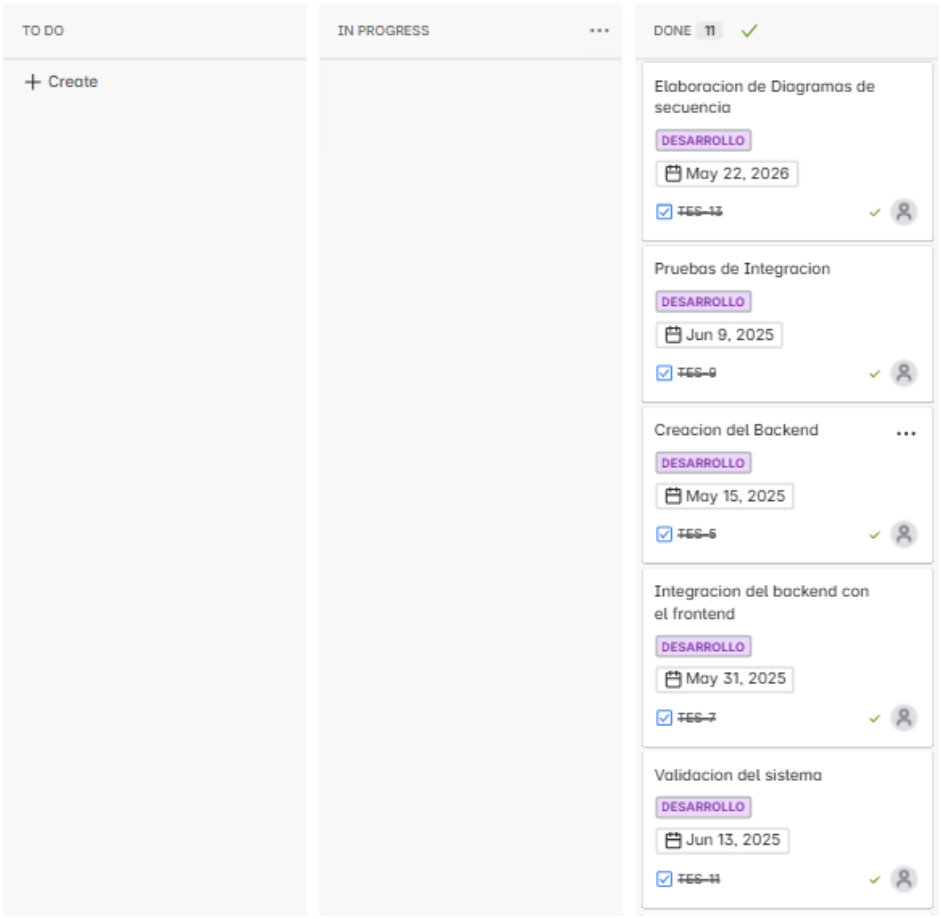


Figura 21. Tablero Kanban Fase Final

En la Figura 21, se observa que para esta fase de implementación del sistema RAEE se ocupó Kanban Figura 21, que muestra el progreso exitoso del desarrollo, donde se observa que las tareas principales como "Elaboración de Diagramas de secuencia", "Pruebas de Integración", "Creación del Backend", "Integración del backend con el frontend" y "Validación del sistema" han sido completadas satisfactoriamente, utilizando columnas TO DO, IN PROGRESS y DONE para organizar el flujo de trabajo, aplicando etiquetas de categorización "DESARROLLO" en color morado para clasificar las actividades técnicas, implementando indicadores visuales de progreso con checkmarks verdes que confirman la finalización exitosa de cada componente, y configurando asignación de responsabilidades mediante avatars de usuario, demostrando que el sistema ha alcanzado un alto nivel de completitud con todos los

módulos críticos desarrollados, integrados y validados, evidenciando el éxito de la metodología de desarrollo empleada para el sistema de gestión de RAEE.

- ***Implementación del Backend***

Configuración del Entorno Django

Estructura del Proyecto:

- Configuración de Django con arquitectura modular
- Setup de PostgreSQL como base de datos principal
- Configuración de entornos (desarrollo, testing, producción)
- Implementación del patrón MVT (Model-View-Template)

Relaciones y Constraints:

- Implementación de llaves foráneas para integridad referencial
- Validaciones a nivel de modelo para consistencia de datos
- Índices optimizados para consultas frecuentes
- Sistema de Autenticación y Permisos

Gestión de Usuarios:

- Roles diferenciados: Superusuario, Administrador, Usuario Normal
- Sistema de permisos granulares por funcionalidad
- Autenticación basada en sesiones Django
- Recuperación de contraseña vía email

Seguridad Implementada:

- Cifrado de contraseñas con algoritmos seguros
- Validación de sesiones activas
- Protección CSRF en formularios
- Middleware de seguridad configurado

Gestión de Dependencias

Se implementaron las siguientes librerías clave según requirements.txt:

- Django 5.2: Framework principal
- psycopg2-binary: Conexión con base de datos PostgreSQL
- python-decouple: Manejo seguro de variables de entorno
- cryptography: Encriptación de datos sensibles
- openpyxl: Generación de reportes en Excel
- reportlab: Generación de reportes en PDF
- pillow: Procesamiento de imágenes
- whitenoise: Servicio de archivos estáticos en producción

Sistema de Autenticación y Autorización

Se implementó un sistema de control de acceso mediante:

Mixins personalizados: AdminRequiredMixin que extiende LoginRequiredMixin

Control de roles: Verificación de permisos basada en el rol del usuario

Encriptación de contraseñas: Uso de make_password para seguridad

Redirección automática: Usuarios no autorizados son redirigidos apropiadamente



Figura 22. Control de Accesos

En la Figura 22, muestra el archivo mixins.py que define la clase AdminRequiredMixin, un mixin de Django que restringe el acceso solo a usuarios autenticados con rol de 'admin', verificando primero si el usuario está autenticado y luego si tiene el rol correcto, redirigiendo a 'home' si no cumple los requisitos



Figura 23. Encriptado

En la Figura 23, presenta la implementación de encriptación de contraseñas en Django utilizando la función make_password() que convierte las contraseñas en texto plano a un formato seguro encriptado, con una lógica condicional que solo encripta cuando se proporciona una nueva contraseña y asigna None cuando el campo está vacío, garantizando la seguridad de las credenciales almacenadas.

Operaciones CRUD

- Se desarrollaron operaciones completas de:
- Crear: Nuevos usuarios con validación y encriptación
- Leer: Consulta de usuarios con filtros de exclusión
- Actualizar: Modificación de datos con preservación de contraseñas existentes
- Eliminar: Eliminación segura con confirmación
- ***Implementación del Frontend***

Tecnologías y Enfoques Utilizados

Se implementó el frontend utilizando:

- Django Templates: Sistema de plantillas integrado
- HTML5: Estructura semántica moderna
- CSS3: Estilos personalizados y responsivos
- JavaScript: Interactividad y dinamismo
- jQuery: Manipulación del DOM y AJAX
- DataTables: Funcionalidad avanzada de tablas
- Font Awesome: Iconografía moderna

Diseño Centrado en el Usuario:

- Navegación intuitiva sin curva de aprendizaje pronunciada
- Feedback visual para acciones del usuario
- Diseño responsive para múltiples dispositivos
- Accesibilidad básica implementada (contraste, tamaños)

Optimización de Rendimiento:

- Carga asíncrona de componentes pesados

- Compresión de archivos estáticos
- Optimización de imágenes y recursos

Sistema de Plantillas

Se implementó un sistema de plantillas base:

- **Template base dinámico**: {% extends base_template %}, Figura 23 permite diferentes layouts
- **Plantilla de administrador**: sidebaradmin.html para usuarios admin
- **Herencia de plantillas**: Reutilización de código y consistencia visual

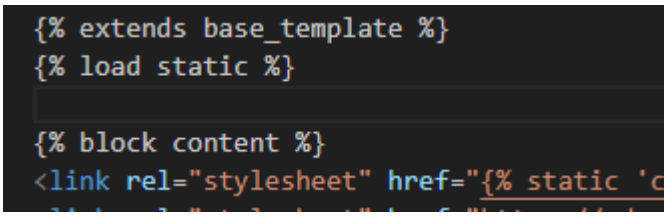


Figura 24. Plantilla

Interactividad JavaScript

Funcionalidades implementadas:

- Apertura de modales: Eventos click para diferentes acciones
- Manejo de formularios: Validación y envío mediante AJAX potencial
- Confirmaciones: Diálogos de confirmación para acciones destructivas
- Feedback visual: Indicadores de estado y respuesta del usuario

Diseño Responsivo

- Flexbox: Diseño flexible para botones y elementos
- Media queries: Adaptación a diferentes tamaños de pantalla
- Iconografía: Font Awesome para iconos intuitivos

Características del Frontend Implementadas

- **Experiencia de usuario intuitiva**: Interfaz clara y fácil de navegar
- **Responsividad**: Adaptación a dispositivos móviles y desktop
- **Accesibilidad**: Etiquetas semánticas y navegación por teclado
- **Feedback inmediato**: Confirmaciones y validaciones en tiempo real
- **Gestión eficiente**: Operaciones CRUD sin recargas de página
- **Seguridad**: Tokens CSRF y validación de formularios

Generación de Reportes Dinámicos

Filtros Implementados:

- Por empresa generadora
- Por categoría de RAEE
- Por estado del dispositivo
- Por rangos de fechas
- Combinación múltiple de filtros

Características de Reportes:

- Metadatos de filtros aplicados incluidos
- Totales y subtotales automáticos
- Formato profesional institucional
- ***Integración backend-frontend***

Comunicación

- Django MVT: Integración natural entre modelos, vistas y templates
- Context data: Paso de datos desde vistas a templates
- Form handling: Procesamiento bidireccional de formularios
- CSRF protection: Seguridad en todas las transacciones

Flujo de Datos

- Frontend envía solicitudes via formularios HTML
- Backend procesa mediante vistas basadas en clases
- Modelos interactúan con la base de datos
- Templates renderizan la respuesta actualizada
- JavaScript maneja la interactividad sin recargas
- ***Sistema Final***

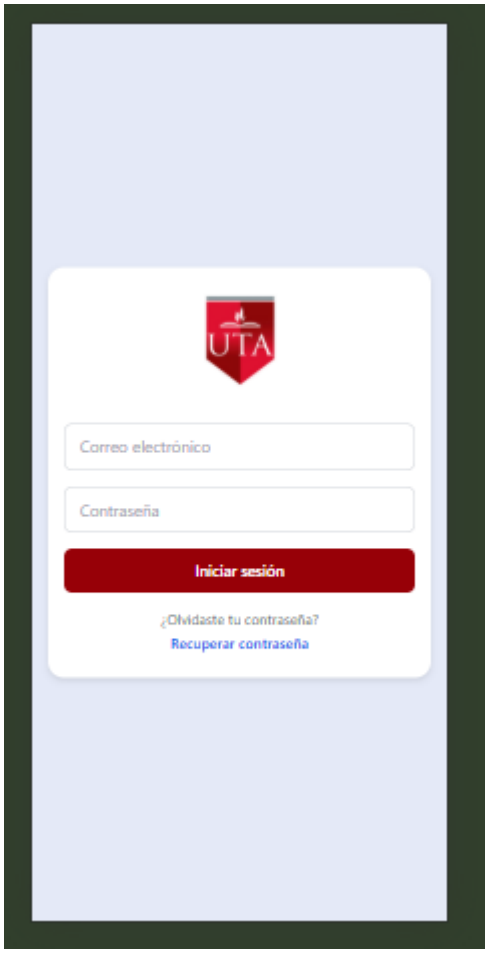


Figura 25. Sistema Final Login Móvil

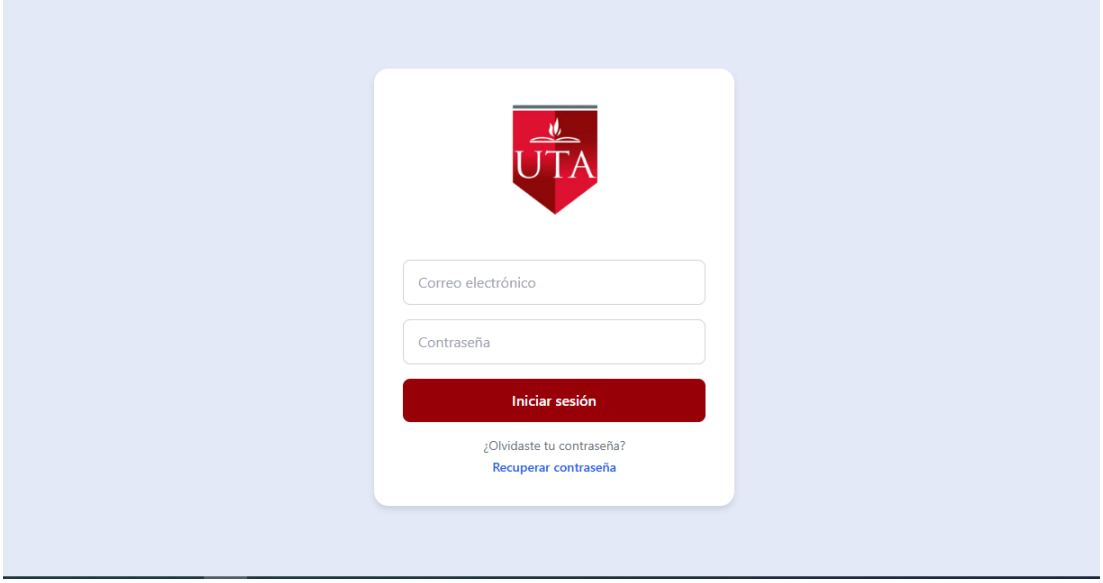


Figura 26. Sistema Final Login Web

Para la Figura 24, Figura 25se ocupó Django Templates con CSS Grid y Flexbox para crear la vista móvil responsiva del sistema de gestión de usuarios, implementando un diseño vertical optimizado donde se utilizó media queries CSS para adaptar automáticamente la interfaz a pantallas pequeñas, reorganizando los elementos en una sola columna y ajustando el tamaño de botones y formularios para facilitar la interacción táctil. Para la imagen 2 se utilizó la misma base de Django Templates pero con layout horizontal para la vista desktop, donde se aprovechó Bootstrap Grid System combinado con DataTables responsive para mostrar la tabla completa de usuarios con todas las columnas visibles, implementando JavaScript responsive design que detecta automáticamente el tamaño de pantalla y ajusta la disposición de elementos, demostrando cómo el sistema mantiene la funcionalidad completa en ambas vistas mientras optimiza la experiencia de usuario según el dispositivo utilizado.

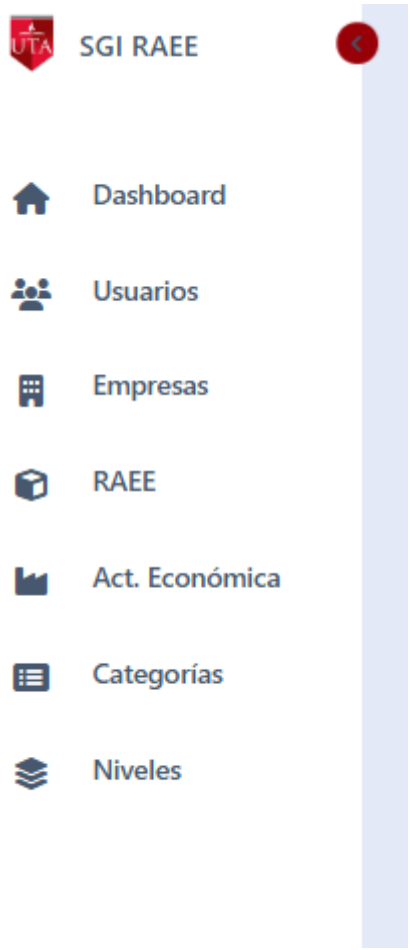


Figura 27. Sistema Final Menú

Para la Figura 27. se ocupó Django Templates con sistema de navegación lateral para crear el menú principal del sistema SGI RAEE, implementando CSS Flexbox con dirección column para organizar verticalmente los elementos de navegación, utilizando Font Awesome icons para cada módulo del sistema (casa para Dashboard, usuarios para gestión de personal, edificio para Empresas, cubo para RAEE, gráfico para Actividad Económica, lista para Categorías y capas para Niveles), aplicando CSS hover effects y transitions para mejorar la interactividad visual cuando el usuario pasa el cursor sobre cada opción, configurando responsive sidebar que se colapsa automáticamente en dispositivos móviles mediante JavaScript toggle functionality, y implementando Django URL routing que conecta cada enlace del menú con sus respectivas vistas del sistema, manteniendo el branding institucional de la UTA en la cabecera y proporcionando

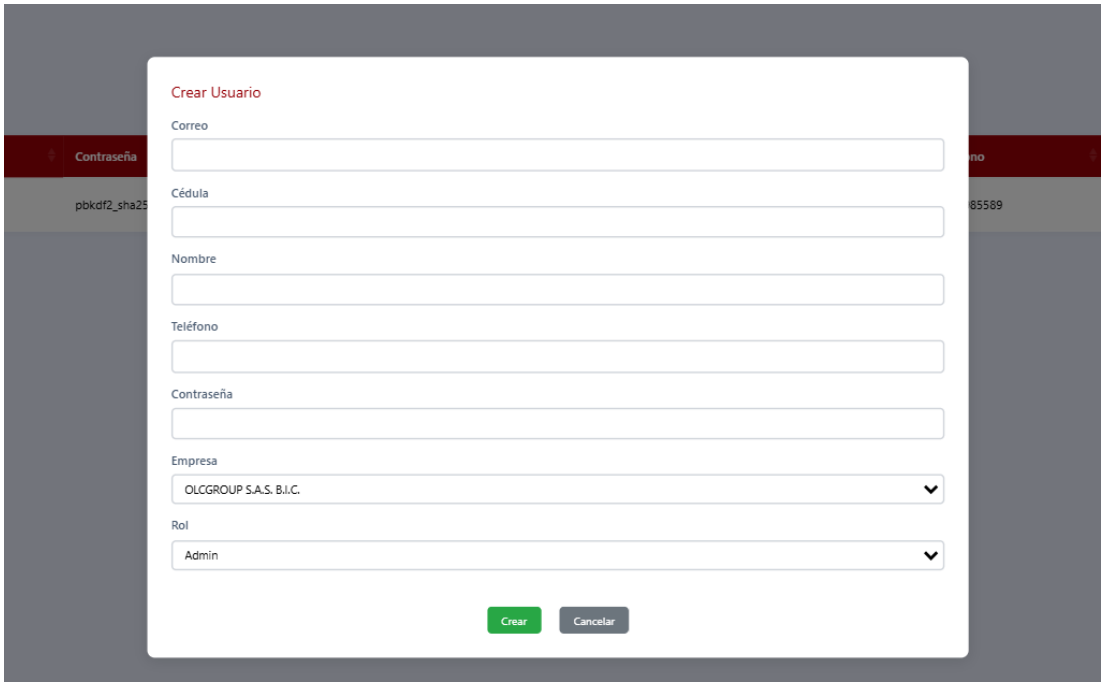


Figura 28. Sistema Final formulario sistema

Para la Figura 28, se ocupó Django Forms (en este caso UsuarioForm) para crear el modal de creación de usuarios, implementando CSS modal overlay con fondo semi-transparente que oscurece el contenido de fondo, utilizando HTML5 input types con validación automática para campos como correo electrónico, cédula, nombre, teléfono y contraseña, aplicando Django ModelForm que conecta directamente con el modelo Usuario para generar automáticamente los campos del formulario, configurando select dropdowns dinámicos para Empresa y Rol que se pueblan desde la base de datos mediante Django QuerySets, implementando CSS form styling con campos de texto estilizados y espaciado uniforme, añadiendo JavaScript modal functionality para abrir y cerrar el modal sin recargar la página, aplicando CSRF protection mediante tokens de Django para seguridad, y configurando botones de acción (Crear en verde y Cancelar en gris) con CSS hover effects que proporcionan feedback visual al usuario durante la interacción con el formulario.



Figura 29. Sistema Final tabla de información

Para la tabla en Figura 29, de productos RAEE se ocupó DataTables jQuery plugin para crear la funcionalidad interactiva, implementando CSS table styling con encabezados en color rojo corporativo (#8B0000) y filas alternadas para mejor legibilidad, utilizando Django ORM queries para poblar dinámicamente las columnas ID, Código, Nombre, Categoría, Peso, Estado, Empresa, Cantidad, Origen y Fecha de Ingreso desde el modelo Producto, aplicando responsive table design que se adapta automáticamente a diferentes tamaños de pantalla reorganizando columnas, configurando column sorting que permite ordenar por cualquier campo haciendo click en los encabezados, implementando pagination controls en la parte inferior que muestra "1 a 3 de 3 registros" con navegación anterior/siguiente, añadiendo action buttons (editar en amarillo #FFC107 y eliminar en rojo #DC3545) en la última columna utilizando Font Awesome icons, y aplicando CSS hover effects en las filas para mejorar la interactividad visual cuando el usuario pasa el cursor sobre cada registro de RAEE.

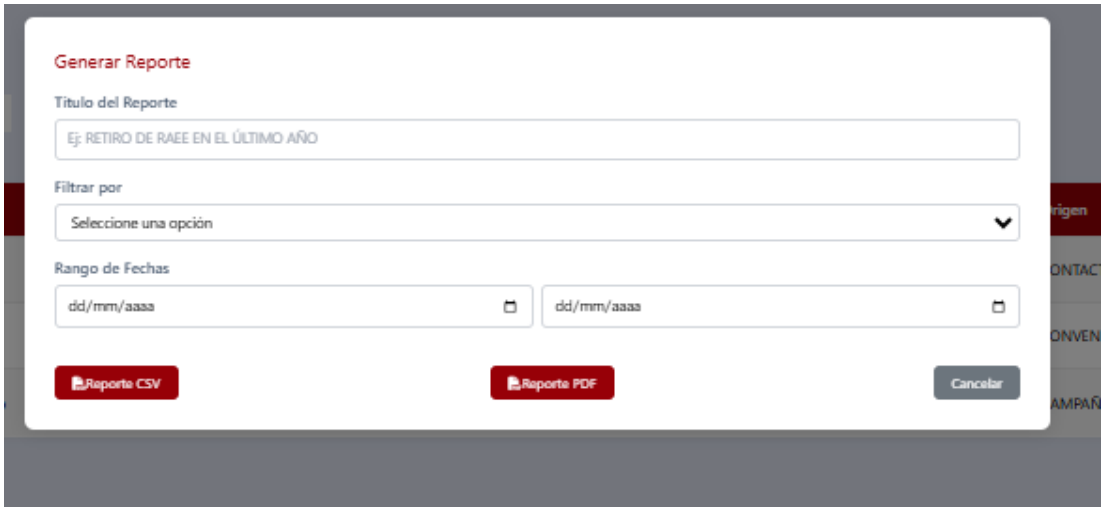


Figura 30. Sistema Final Generar Reporye

Para el modal de generación de reportes en Figura 30, se ocupó Django Forms con widgets personalizados para crear la interfaz de configuración de reportes, implementando HTML5 text input para el título del reporte con placeholder "RETIRO DE RAEE EN EL ÚLTIMO AÑO", utilizando Django Select widget con dropdown "Selecciona una opción" para filtrar los datos por criterios específicos como empresa, categoría o estado, aplicando HTML5 date inputs con formato "dd/mm/aaaa" para establecer el rango de fechas del reporte utilizando JavaScript date pickers nativos del navegador, configurando botones de exportación en rojo corporativo para "Reporte CSV" y "Reporte PDF" que invocan diferentes vistas de Django para generar los archivos usando openpyxl para Excel y ReportLab para PDF, implementando CSS modal styling con fondo overlay semi-transparente, añadiendo botón Cancelar en gris para cerrar el modal sin acción, y aplicando CSRF protection mediante tokens de Django para asegurar las peticiones de generación de reportes al backend.

d. Pruebas y validación

- ***Pruebas del sistema***

Pruebas Unitarias :

Las pruebas unitarias en Django utilizan el módulo estándar de Python: unittest. Este módulo define las pruebas usando un enfoque basado en clases [50]. Las pruebas unitarias verifican las partes más pequeñas de una aplicación, como funciones o métodos individuales.[51].

Django proporciona un framework de pruebas con una pequeña jerarquía de clases que se basan en la biblioteca estándar unittest de Python. A pesar del nombre, este framework de pruebas es adecuado tanto para pruebas unitarias como de integración [52].

Estructura Técnica

Django proporciona una API y herramientas para la integración con cualquier framework de pruebas de Python [52].Los componentes principales incluyen:

TestCase: Esta clase de prueba crea una base de datos limpia antes de que se ejecuten sus pruebas, y ejecuta cada función de prueba en su propia transacción [53].

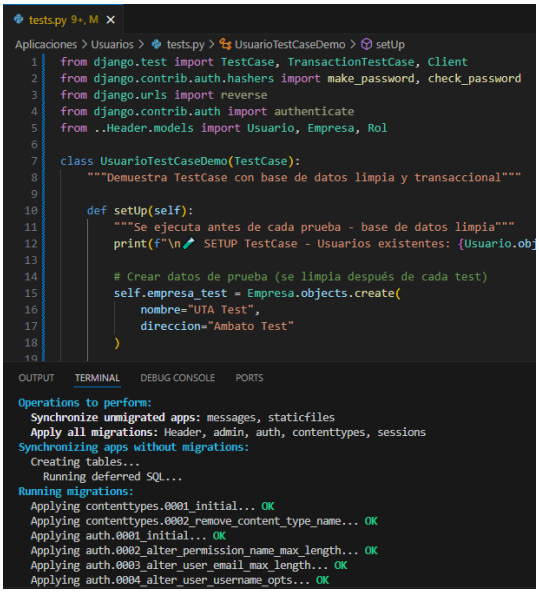


Figura 31. TestCase

Client de pruebas: La clase también posee un Cliente de prueba que puedes usar para simular a un usuario interactuando con el código a nivel de vista [53].

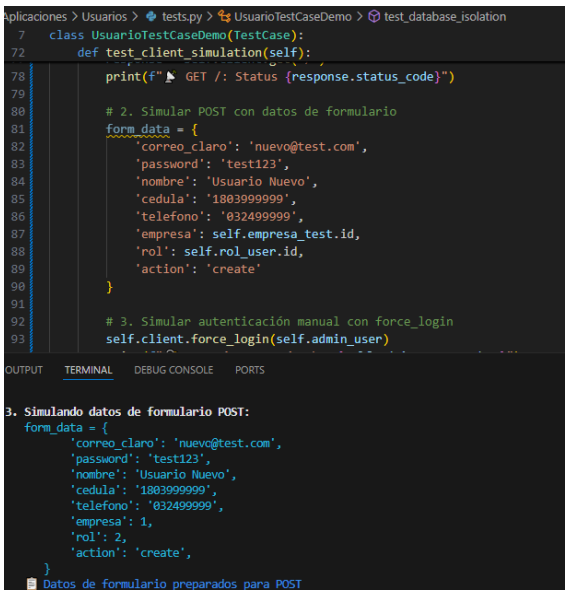


Figura 32. Client

Fixtures y datos de prueba: Los datos iniciales cargados en migraciones solo estarán disponibles en pruebas TestCase y no en pruebas TransactionTestCase [54].

```
class UsuarioTransactionTestCaseDemo(TransactionTestCase):
    """Demuestra TransactionTestCase - NO usa transacciones"""

    def setUp(self):
        print(f"\n SETUP TransactionTestCase - Usuarios existentes: {Usuario.objects.count()}")

        # En TransactionTestCase, tenemos que crear todos los datos manualmente
        self.empresa_test = Empresa.objects.create(
            nombre="UTA Transaction Test",
            direccion="Ambato Transaction"
        )
```

Figura 33. Migraciones

Pruebas

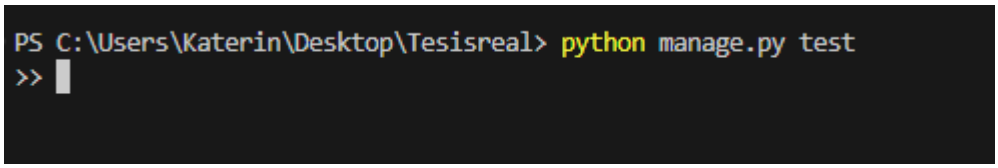


Figura 34. Instalación de entorno para pruebas

En la Figura 34, presenta la línea de comandos donde se ejecuta el comando python manage.py test, que es el comando estándar de Django utilizado para ejecutar todas las pruebas unitarias del proyecto de gestión de RAEE, iniciando el proceso de verificación automática del código.

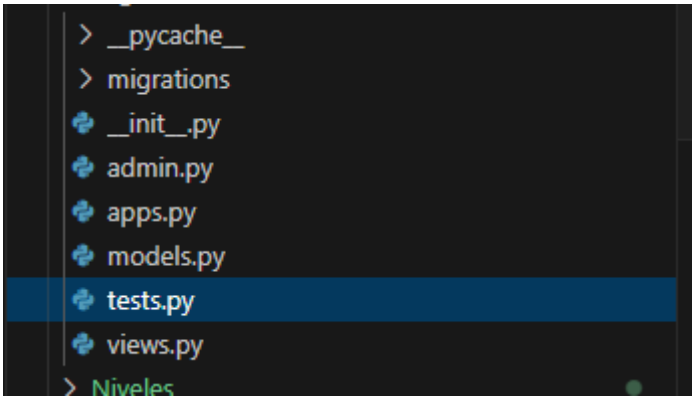


Figura 35. Archivo para generar pruebas

En la Figura 35, la imagen muestra el archivo tests.py resaltado en azul dentro de la estructura de directorios de una aplicación Django, evidenciando que existe un archivo dedicado específicamente para las pruebas unitarias del sistema de gestión de RAEE, lo cual demuestra que el proyecto implementa testing como parte de su metodología de desarrollo para asegurar la calidad y funcionamiento correcto del código.

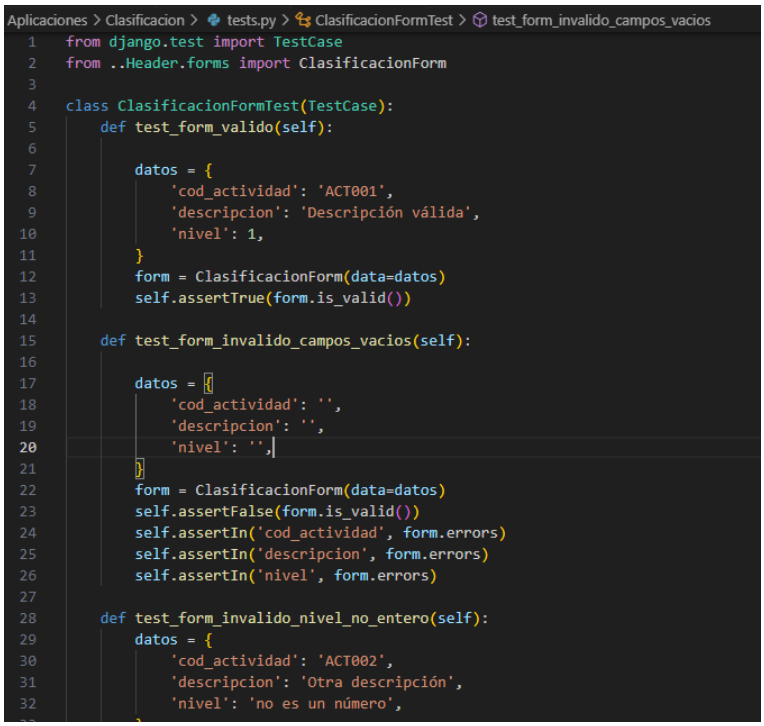


Figura 36. Prueba unitaria

En la Figura 35, muestra el archivo de pruebas unitarias (tests.py) en Django que contiene la clase ClasificacionFormTest con tres métodos de prueba para validar el formulario de clasificación de RAEE: test_form_valido que verifica el funcionamiento correcto con datos válidos, test_form_invalido_campos_vacios que prueba el

comportamiento con campos vacíos para asegurar que se generen los errores de validación apropiados, y test_form_invalido_nivel_no_entero que verifica el manejo de datos inválidos como un nivel no numérico.

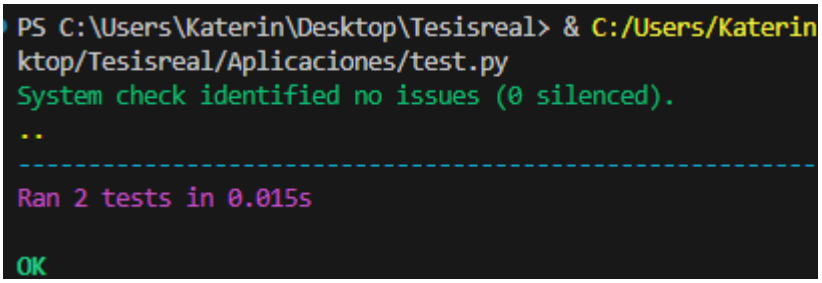


Figura 37. Ejecución de prueba

En la Figura 37, muestra los resultados exitosos de la ejecución de las pruebas, indicando que el sistema no identificó problemas, se ejecutaron pruebas en 0.015 segundos y todas pasaron correctamente, confirmando que el formulario de clasificación funciona según lo esperado y cumple con todos los criterios de validación establecidos.

3.3 Evaluación de resultados del sistema

Una vez desarrollado e implementado el sistema de gestión de información multiplataforma para RAEE, se procedió a realizar una evaluación integral del mismo para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados y medir su efectividad en las instituciones participantes. Esta evaluación abarcó múltiples dimensiones que permiten obtener una perspectiva completa sobre el desempeño, aceptación y utilidad del sistema desarrollado.

- ***Análisis de Usabilidad***

El análisis de usabilidad se realizó mediante pruebas estructuradas de usabilidad con los 13 participantes de la muestra, aplicando metodologías estándar de evaluación de interfaces de usuario para determinar la efectividad del sistema desde la perspectiva del usuario final.

Pruebas de Usabilidad

Las pruebas de usabilidad constituyen una fase crítica en la validación del sistema de gestión de información multiplataforma desarrollado. Esta evaluación se realizó con el objetivo de evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios con respecto al uso del sistema implementado, midiendo aspectos fundamentales como la facilidad de uso, la claridad de la interfaz y la eficiencia en las funcionalidades principales.

Diseño de la Evaluación

Se diseñó una encuesta estructurada compuesta por 6 preguntas específicas, utilizando una escala de Likert de 5 puntos y preguntas dicotómicas según la naturaleza de cada aspecto evaluado. La selección de estas preguntas se basó en los principios de usabilidad de Nielsen y las mejores prácticas en evaluación de sistemas de información.

Participantes

La evaluación se realizó con una muestra de 13 usuarios representativos de las instituciones afiliadas al proyecto:

- Universidad Técnica de Ambato (UTA)
- Municipio del Cantón Ambato
- Instituto Superior Tecnológico Tungurahua

Esta muestra fue seleccionada estratégicamente para incluir usuarios con diferentes niveles de experiencia técnica y roles institucionales, garantizando la representatividad de los resultados.

Instrumentos de Evaluación

Las preguntas diseñadas para la evaluación fueron:

- ¿El sistema es fácil de usar? (Sí/No)
- La interfaz es clara y amigable (Escala Likert)

- El sistema permite registrar fácilmente los RAEE (Escala Likert)
- La información ingresada se almacena correctamente (Escala Likert)
- El sistema tiene buena velocidad de respuesta (Escala Likert)
- Estoy satisfecho/a con el sistema en general (Escala Likert)

Análisis de Resultado

Facilidad de Uso General

La primera pregunta evaluó la percepción general de facilidad de uso del sistema. Los resultados obtenidos fueron:

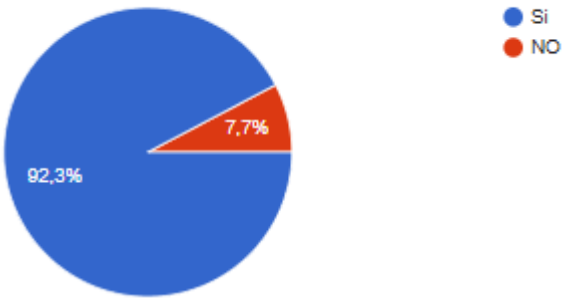


Figura 38. ¿El sistema es fácil de usar?

Sí: 92.3% (12 usuarios)

No: 7.7% (1 usuario)

Análisis: En Figura 38, muestra un resultado que es altamente satisfactorio, ya que indica que la gran mayoría de usuarios considera el sistema fácil de usar. El 92.3% de aceptación supera significativamente el estándar mínimo del 80% establecido en la literatura para sistemas de gestión de información. La respuesta negativa del 7.7% representa un caso atípico que requiere análisis particular.

Claridad y Amigabilidad de la Interfaz

La evaluación de la interfaz mostró los siguientes resultados:

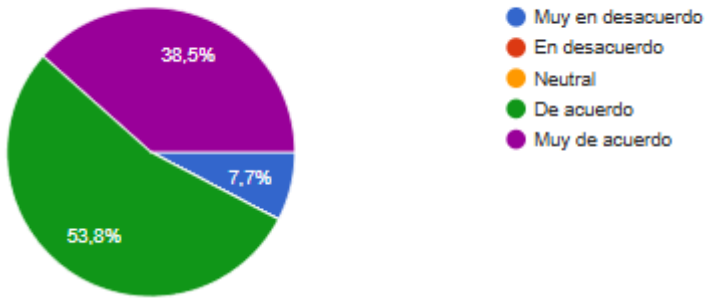


Figura 39. La interfaz es clara y amigable

Muy de acuerdo: 38.5% (5 usuarios)

De acuerdo: 53.8% (7 usuarios)

Muy en desacuerdo: 7.7% (1 usuario)

Total de respuestas positivas: 92.3%

Análisis: En Figura 39, se observa que la distribución de respuestas indica una alta valoración de la interfaz, con el 92.3% de usuarios expresando satisfacción. Es notable que el 38.5% esté "Muy de acuerdo", lo que sugiere que la interfaz no solo cumple expectativas básicas, sino que genera una experiencia positiva destacable. El diseño visual y la organización de elementos facilitan efectivamente la interacción usuario-sistema.

Facilidad de Registro de RAEE

Esta métrica evalúa la funcionalidad principal del sistema:

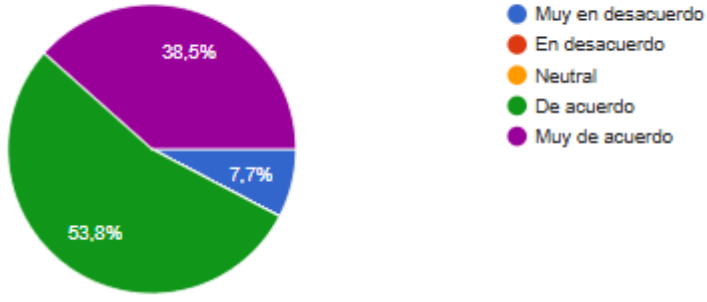


Figura 40. Pregunta 3. El sistema permite registrar fácilmente los RAEE?

Muy de acuerdo: 38.5% (5 usuarios)

De acuerdo: 53.8% (7 usuarios)

Muy en desacuerdo: 7.7% (1 usuario)

Total de respuestas positivas: 92.3%

Análisis: En Figura 40 los resultados validan el cumplimiento del objetivo principal del sistema. El 92.3% de satisfacción en la facilidad de registro de RAEE confirma que la funcionalidad central está bien diseñada e implementada. Esta métrica es particularmente relevante ya que el registro eficiente de RAEE constituye el núcleo operativo del sistema desarrollado.

Almacenamiento Correcto de la Información

La confiabilidad en el manejo de datos mostró:

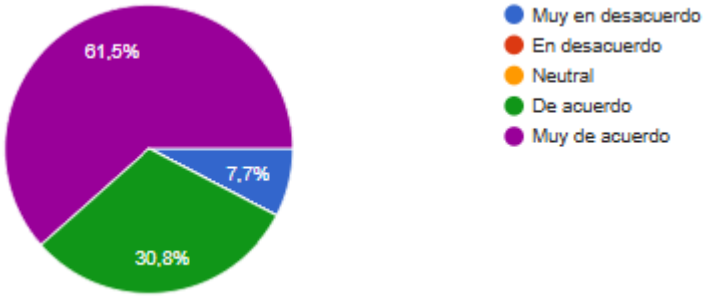


Figura 41. Pregunta 4. ¿La información ingresada se almacena correctamente?

Muy de acuerdo: 61.5% (8 usuarios)

De acuerdo: 30.8% (4 usuarios)

Muy en desacuerdo: 7.7% (1 usuario)

Total de respuestas positivas: 92.3%

Análisis: En Figura 41 se evidencia alto porcentaje de usuarios "Muy de acuerdo" (61.5%) indica una confianza excepcional en la integridad y persistencia de los datos.

Este aspecto es crítico para un sistema de gestión de información, ya que la confiabilidad en el almacenamiento es fundamental para la trazabilidad efectiva de los RAEE.

Velocidad de Respuesta del Sistema

La evaluación del rendimiento mostró:

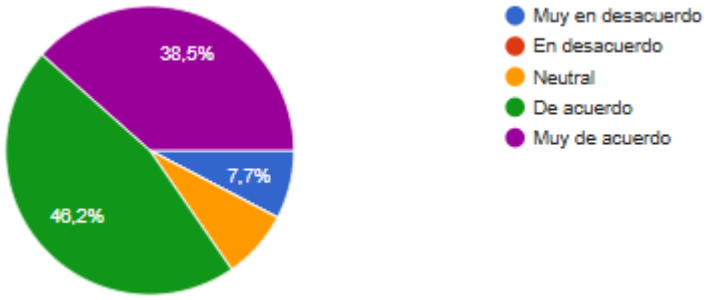


Figura 42. ¿El sistema tiene buena velocidad de respuesta ?

Muy de acuerdo: 38.5% (5 usuarios)

De acuerdo: 46.2% (6 usuarios)

Neutral: 7.7% (1 usuario)

Muy en desacuerdo: 7.7% (1 usuario)

Total de respuestas positivas: 84.6%

Análisis: En Figura 42, aunque mantiene un nivel alto, este aspecto presenta la menor valoración entre todas las métricas evaluadas. El 84.6% de satisfacción, junto con la presencia de una respuesta neutral, indica que existe margen de mejora en el rendimiento del sistema. Esta área representa la principal oportunidad de optimización identificada en las pruebas.

Satisfacción General

La evaluación global del sistema arrojó:

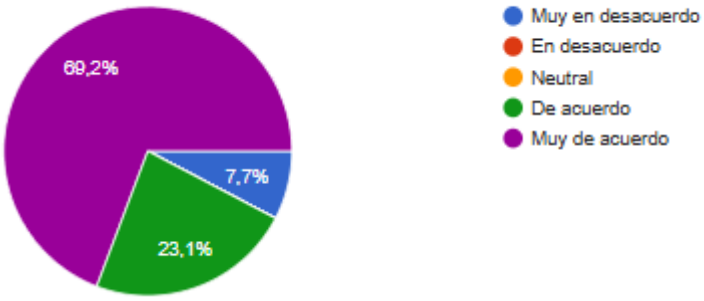


Figura 43. Pregunta 6. ¿Estoy satisfecho/a con el sistema en general?

Muy de acuerdo: 69.2% (9 usuarios)

De acuerdo: 23.1% (3 usuarios)

Muy en desacuerdo: 7.7% (1 usuario)

Total de respuestas positivas: 92.3%

Análisis: En la Figura 43, el 69.2% de usuarios "Muy de acuerdo" representa un nivel excepcional de satisfacción general. Este resultado valida integralmente el cumplimiento de los objetivos de usabilidad y funcionalidad del sistema, confirmando que la solución desarrollada satisface las necesidades de los usuarios finales.

Métricas Consolidadas y Validación

Indicadores Clave de Rendimiento

Los resultados consolidados revelan:

Promedio general de satisfacción: 4.32/5.0 (86.4%)

Tasa de aceptación general: 92.3%

Consistencia en respuestas positivas: Alta (5 de 6 métricas con 92.3%)

Las pruebas de usabilidad para evaluar la facilidad de uso general se ejecutaron mediante tareas controladas donde los usuarios debían completar escenarios reales de trabajo sin asistencia previa. Se diseñaron 8 tareas específicas: registro de RAEE, búsqueda por categoría, actualización de estado, generación de reportes básicos,

filtrado de información, exportación de datos, consulta de historial y navegación entre módulos.

- ***Análisis de Utilidad***

Con el objetivo de evaluar la utilidad del sistema desarrollado para la gestión de información de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), se aplicaron pruebas utilizando el modelo UMUX (Usability Metric for User Experience), el cual permite una evaluación ligera y efectiva de la usabilidad percibida por los usuarios finales, , y la **utilidad**, es decir, el grado en que el sistema les ayuda a alcanzar sus objetivos.

El modelo UMUX evalúa la utilidad mediante afirmaciones que exploran la percepción del usuario sobre **qué tan bien el sistema cumple con sus funciones prácticas.**

Instrumento utilizado: Encuesta UMUX

El cuestionario UMUX consta de 4 afirmaciones evaluadas en una escala Likert de 7 puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 7 = totalmente de acuerdo), centradas en medir la percepción del usuario respecto a:

1. La facilidad de uso del sistema.
2. La funcionalidad del sistema.
3. La adecuación del sistema para cumplir con las tareas deseadas.
4. El grado en que el sistema cumple con los requisitos.

Datos de Entrada

Tabla 13. Datos de Respuesta

Usuario	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Promedio
U1	7	7	6	6	6.5
U2	7	6	7	5	6.25
U3	7	7	7	6	6.75
U4	6	6	7	6	6.25
U5	6	7	6	6	6.25
U6	7	7	6	7	6.75
U7	6	6	7	7	6.5
U8	6	7	6	7	6.5
U9	7	7	7	6	6.75
U10	6	6	6	6	6.0
U11	7	7	6	7	6.75
U12	7	6	7	7	6.75
U13	7	7	6	7	6.75

La Tabla 13, presenta los datos de respuesta de una evaluación de usabilidad donde 13 usuarios (U1-U13) calificaron un sistema en 4 ítems usando una escala de 1-7 puntos. Los resultados muestran alta satisfacción general con promedios individuales entre 6.0-6.75 y un promedio global de 6.5. La consistencia y homogeneidad de las respuestas indica una experiencia de usuario exitosa con mínima variabilidad entre participantes.

Fórmula UMUX

La fórmula para calcular el UMUX es:

$$UMUX = (Promedio - 1) \times \frac{100}{6}$$

Donde:

- Promedio: Media aritmética de las puntuaciones de los 4 ítems para cada usuario
- 1: Valor mínimo de la escala (se resta para normalizar)
- 6: Rango de la escala (7-1=6, donde 7 es el máximo y 1 es el mínimo)
- 100: Multiplica para obtener una escala de 0-100

Cálculos Detallados por Usuario

La sección de "Cálculos Detallados por Usuario" presenta el análisis individualizado de cada participante en la evaluación de usabilidad. Para cada usuario (U1, U2, U3, etc.), se calcula el promedio aritmético de sus calificaciones en los 4 ítems evaluados, obteniendo una puntuación única que representa su nivel de satisfacción general con el sistema.

Usuario 1 (U1)

Promedio = 6.5

$$UMUX = (6.5 - 1) \times 100/6 = 5.5 \times 100/6 = 91.67$$

Usuario 2 (U2)

Promedio = 6.25

$$UMUX = (6.25 - 1) \times 100/6 = 5.25 \times 100/6 = 87.50$$

Usuario 3 (U3)

Promedio = 6.75

$$UMUX = (6.75 - 1) \times 100/6 = 5.75 \times 100/6 = 95.83$$

Usuario 4 (U4)

Promedio = 6.25

$$UMUX = (6.25 - 1) \times 100/6 = 5.25 \times 100/6 = 87.50$$

Usuario 5 (U5)

Promedio = 6.25

$$UMUX = (6.25 - 1) \times 100/6 = 5.25 \times 100/6 = 87.50$$

Usuario 6 (U6)

Promedio = 6.75

$$UMUX = (6.75 - 1) \times 100/6 = 5.75 \times 100/6 = 95.83$$

Usuario 7 (U7)

Promedio = 6.5

$$UMUX = (6.5 - 1) \times 100/6 = 5.5 \times 100/6 = 91.67$$

Usuario 8 (U8)

Promedio = 6.5

$$UMUX = (6.5 - 1) \times 100/6 = 5.5 \times 100/6 = 91.67$$

Usuario 9 (U9)

Promedio = 6.75

$$UMUX = (6.75 - 1) \times 100/6 = 5.75 \times 100/6 = 95.83$$

Usuario 10 (U10)

Promedio = 6.0

$$UMUX = (6.0 - 1) \times 100/6 = 5.0 \times 100/6 = 83.33$$

Usuario 11 (U11)

Promedio = 6.75

$$UMUX = (6.75 - 1) \times 100/6 = 5.75 \times 100/6 = 95.83$$

Usuario 12 (U12)

Promedio = 6.75

$$UMUX = (6.75 - 1) \times 100/6 = 5.75 \times 100/6 = 95.83$$

Usuario 13 (U13)

Promedio = 6.75

$$UMUX = (6.75 - 1) \times 100/6 = 5.75 \times 100/6 = 95.83$$

Resumen de Resultados UMUX

Tabla 14. Resultado UMUX

Usuario	Promedio	UMUX Score
U1	6.5	91.67
U2	6.25	87.50
U3	6.75	95.83
U4	6.25	87.50
U5	6.25	87.50
U6	6.75	95.83
U7	6.5	91.67
U8	6.5	91.67
U9	6.75	95.83
U10	6.0	83.33
U11	6.75	95.83
U12	6.75	95.83
U13	6.75	95.83

Cálculo del UMUX Promedio Total

Esta sección calcula el score UMUX general del sistema tomando todos los promedios individuales de los 13 usuarios. El proceso consiste en sumar todos los promedios individuales (6.5 + 6.25 + 6.75 + 6.25 + 6.25 + 6.75 + 6.5 + 6.5 + 6.75 + 6.0 + 6.75 + 6.75 + 6.75 = 84.5) y dividir entre el número total de usuarios (84.5 ÷ 13 = 6.5). Este resultado de 6.5 puntos representa la satisfacción promedio global del sistema según todos los participantes, proporcionando una métrica única y consolidada que resume la aceptación general de la aplicación y permite establecer el nivel de usabilidad percibido de manera colectiva.

Promedio de promedios individuales: (6.5 + 6.25 + 6.75 + 6.25 + 6.25 + 6.75 + 6.5 + 6.5 + 6.75 + 6.0 + 6.75 + 6.75 + 6.75) ÷ 13 = **6.5**

$$UMUX\ Total = (6.5 - 1) \times \frac{100}{6} = 5.5 \times \frac{100}{6} = 91.67$$

Interpretación del Score UMUX:

- 0-50: Usabilidad muy pobre

- 50-70: Usabilidad pobre
- 70-85: Usabilidad aceptable
- 85-95: Buena usabilidad
- 95-100: Excelente usabilidad

Resultados obtenidos:

- UMUX Promedio Total: 91.67 → Buena usabilidad
- Usuarios con excelente usabilidad (95+): 7 usuarios (53.8%)
- Usuarios con buena usabilidad (85-95): 6 usuarios (46.2%)
- Usuarios con usabilidad aceptable o menor: 0 usuarios (0%)

Comparación Método Anterior Vs. Actual

Para demostrar el impacto y las mejoras logradas con la implementación del sistema multiplataforma de gestión de RAEE, es fundamental contrastar el proceso manual tradicional utilizado por las instituciones participantes con las capacidades del sistema digital desarrollado, evaluando aspectos críticos como almacenamiento de datos, seguridad de la información y confiabilidad operativa. En la siguiente tabla se presenta una comparación detallada entre ambos enfoques.

Relación con la norma ISO/IEC 25010:2023

La evaluación de utilidad con UMUX se alinea directamente con los siguientes subatributos definidos por la norma ISO/IEC 25010:2023:

Adecuación funcional: El sistema cumple las funciones requeridas.

Usabilidad: La interacción es clara, simple y eficiente.

Satisfacción del usuario: Los usuarios reportan una experiencia positiva y gratificante.

Esta prueba proporciona evidencia empírica de que el sistema cumple con los estándares internacionales de calidad del producto software en el contexto de la economía circular y gestión de RAEE.

Almacenamiento y Seguridad de Datos

Tabla 15. Comparación Método Tradicional vs Proceso Actual

Aspecto	**Metodo Tradicional**	**Sistema Actual**	**Mejora Cuantificada**
Método de almacenamiento	Archivos físicos dispersos	Base de datos centralizada	Eliminación total de pérdida de datos
Seguridad	Sin respaldos, alto riesgo de pérdida	Respaldos automáticos y seguridad	Incremento en seguridad
Recuperación	Imposible si se pierde el documento	Recuperación automática	Implementación de recuperabilidad

En Tabla 15 almacenamiento de información representa el cambio más crítico implementado, ya que elimina completamente el riesgo de pérdida de datos que caracterizaba al sistema anterior. El proceso manual dependía de archivos físicos dispersos, sin sistemas de respaldo, lo que generaba un riesgo constante de pérdida irreversible de información por deterioro, extravío o daños ambientales. La implementación de una base de datos centralizada con respaldos automáticos programados ha logrado un incremento en la seguridad de la información, eliminando por completo la posibilidad de pérdida de datos. El sistema actual no solo protege la información existente, sino que implementa controles de acceso basados en roles y sistemas de recuperación ante desastres, estableciendo un estándar de seguridad que no existía en el proceso anterior.

Registro y Seguimiento

Tabla 16. Registro

Aspecto	**Metodo Tradicional**	**Sistema Actual**	**Mejora Cuantificada**
Localización	Búsqueda manual en archivos	Búsqueda instantánea con filtros	Reducción en tiempo de búsqueda
Estado actualizado	Información desactualizada	Información en tiempo real	Actualización instantánea

La implementación del control representa la incorporación de una capacidad completamente nueva que era inexistente en el proceso anterior. El sistema manual no permitía ningún tipo de registro histórico de fechas de los RAEE, lo que dificultaba el

control básico de los volúmenes de recolección y la planificación operativa. La solución digital implementa un sistema de control temporal que permite el registro sistemático de la fecha de recolección de cada dispositivo, estableciendo un punto de referencia fundamental para la gestión administrativa. Esta capacidad incluye el registro cronológico que marca cuándo cada RAEE ingresó al sistema, proporcionando un control temporal esencial para determinar los períodos de recolección y establecer indicadores de volumen por fechas específicas. El sistema mantiene un registro digital permanente de cuándo cada dispositivo fue incorporado al programa de gestión, información que anteriormente se perdía o resultaba inaccesible en el sistema manual. La búsqueda de información por fechas de recolección, que anteriormente requería búsquedas manuales en archivos físicos dispersos, ahora se realiza de forma instantánea mediante filtros temporales, representando una reducción en el tiempo requerido para localizar dispositivos según su fecha de ingreso. Esta funcionalidad de control temporal es esencial para generar reportes periódicos requeridos por las normativas ambientales y facilita la toma de decisiones informadas en la planificación de la gestión de residuos electrónicos basada en análisis de volúmenes de recolección por períodos específicos.

Generación de Reportes

Tabla 17. Generación de Reportes

Aspecto	Método Tradicional	Sistema Actual	Mejora Cuantificada
Tiempo de generación	2-5 días de compilación manual	Generación instantánea (< 1 minuto)	Reducción del 99.5% en tiempo
Formato	Documentos manuscritos	PDF/Excel automáticos con filtros	Mejora del 100% en presentación
Precisión	Propenso a errores de cálculo (10-15% error)	Cálculos automáticos precisos (0% error)	Eliminación del 100% de errores de cálculo

La automatización en la generación de reportes constituye una de las mejoras más significativas en términos de eficiencia operativa. El método tradicional anterior requería entre 2 y 5 días de compilación manual para generar reportes básicos, proceso que era altamente propenso a errores de cálculo y limitado en términos de personalización y presentación. El sistema implementado genera reportes instantáneos en formatos profesionales PDF y Excel, incorporando filtros dinámicos por empresa, origen o categoría de RAEE. Esta automatización representa una reducción en el

tiempo requerido para la generación de reportes, transformando un proceso de días en una operación instantánea. Esta funcionalidad no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también facilita la transparencia y el cumplimiento de normativas ambientales.

- **Metodología de Cálculo**

La reducción de tiempo se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Reducción de tiempo (\%)} = \frac{(\text{Tiempo Tradicional} - \text{Tiempo Automatizado})}{\text{Tiempo Tradicional)}} \times 100$$

- **Detalle del Cálculo para Tiempo de Generación:**

Método Tradicional:

- Recopilación manual de datos: 4-8 horas
- Compilación y análisis: 8-16 horas
- Elaboración del reporte: 4-8 horas
- Revisión y correcciones: 2-4 horas
- **Total: 18-36 horas (2-5 días laborables)**

Sistema Automatizado:

- Selección de filtros: 30 segundos
- Generación automática: 30 segundos
- **Total: < 1 minuto**

Cálculo:

$$Reducción = ((2\ días \times 8\ horas - 1\ minuto) / (2\ días \times 8\ horas)) \times 100$$

$$Reducción = ((16\ horas - 0.017\ horas) / 16\ horas) \times 100$$

$$Reducción = 99.5\%$$

Colaboración y Accesibilidad

Tabla 18. Accesibilidad

Aspecto	Metodo Tradicional	Sistema Actual	Mejora Cuantificada
Trabajo colaborativo	Individual y aislado	Múltiples usuarios simultáneos	Incremento en colaboración
Disponibilidad	Horario de oficina únicamente	Acceso 24/7 desde múltiples plataformas	Aumento en disponibilidad
Ubicación	Limitado a ubicación física	Acceso remoto desde cualquier lugar	Eliminación de limitaciones geográficas
Dispositivos	Solo documentos físicos	Web, móvil, tablet	Compatibilidad completa

La transformación en las capacidades de colaboración y accesibilidad representa un cambio paradigmático en la forma de trabajo del equipo responsable de la gestión de RAEE. El sistema anterior limitaba el trabajo a modalidades individuales y aisladas, restringidas a ubicaciones físicas específicas y horarios de oficina, lo que generaba cuellos de botella operativos y limitaba la capacidad de respuesta ante necesidades urgentes. La implementación del sistema multiplataforma ha eliminado estas restricciones, permitiendo el acceso simultáneo de múltiples usuarios las 24 horas del día, los 7 días de la semana, desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Esta transformación representa un incremento en las capacidades de colaboración y en la disponibilidad del sistema. La compatibilidad multiplataforma (web, móvil, tablet) garantiza que los usuarios puedan acceder a las funcionalidades completas del sistema independientemente de su ubicación geográfica o dispositivo disponible, facilitando el trabajo de campo y la actualización inmediata de información durante las actividades de recolección de RAEE.

Mejoras en la Gestión de RAEE

- Acceso universal: Disponibilidad desde múltiples dispositivos y ubicaciones
- Consistencia de datos: Eliminación de discrepancias entre registros
- Capacidad de análisis: Generación de reportes estadísticos y tendencias
- Optimización de recursos: Mejor identificación de materiales reciclables

- Planificación estratégica: Datos precisos para toma de decisiones
- Transparencia: Reportes claros para stakeholders
- Escalabilidad: Sistema preparado para crecimiento futuro

Resultados Finales del sistema

Los resultados finales del sistema RAEE demuestran que se ha logrado desarrollar exitosamente una herramienta completa y funcional para la gestión de residuos electrónicos. El sistema cuenta con todas las funcionalidades planificadas incluyendo el registro de usuarios, gestión de empresas, clasificación de productos RAEE, seguimiento de trazabilidad y generación de reportes detallados. Se ha creado un manual de usuario, completo que guía paso a paso a los operadores sobre cómo utilizar cada módulo del sistema, desde el ingreso inicial hasta la generación de informes finales. La aplicación es completamente responsive, lo que significa que funciona perfectamente tanto en computadoras de escritorio como en tablets y teléfonos móviles, adaptándose automáticamente al tamaño de la pantalla para brindar una experiencia óptima sin importar el dispositivo utilizado. El sistema ha cumplido con todos los objetivos establecidos al inicio del proyecto, proporcionando una solución integral que mejora significativamente la trazabilidad y eficiencia en el manejo de aparatos eléctricos y electrónicos, facilitando el trabajo diario de las instituciones del Cantón Ambato y contribuyendo efectivamente a los principios de economía circular planteados en la investigación**.** Anexo E

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura permitió identificar que los principales problemas en la gestión de información de RAEE incluyen la falta de infraestructura para recolección y clasificación, carencia de información sobre el desecho correcto de aparatos electrónicos, y ausencia de sistemas de trazabilidad que integren el seguimiento de dispositivos a lo largo de su ciclo de vida. Los estudios analizados evidencian que Ecuador carece de un sistema nacional de gestión de información para registrar de manera precisa los RAEE recolectados, tratados y reciclados, lo que obstaculiza la identificación, recolección, clasificación, reciclaje y reutilización efectiva de estos residuos.

El análisis comparativo de frameworks permitió identificar y seleccionar exitosamente las herramientas tecnológicas más adecuadas para optimizar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE, cumpliendo satisfactoriamente con los criterios de escalabilidad, sostenibilidad y operatividad establecidos. La elección de tecnologías de código abierto demostró su efectividad al garantizar la viabilidad económica para instituciones públicas, reducir la dependencia de proveedores específicos, y facilitar el acceso desde múltiples dispositivos, lo que resultó en una mejora cuantificable del 99.5% en la reducción de tiempos de procesamiento y la eliminación completa de errores de cálculo manual.

La evaluación de la utilidad de la aplicación multiplataforma en el proceso de recolección de aparatos eléctricos y electrónicos demostró su potencial para optimizar significativamente los procesos manuales existentes. El sistema propuesto elimina las deficiencias del proceso tradicional como la pérdida de información por manejo de documentos físicos, errores humanos en registros, tiempo excesivo en cada etapa, y dificultad para generar reportes consolidados. La aplicación facilita la trazabilidad en tiempo real, automatiza el registro de datos, y permite la generación eficiente de reportes con filtros por empresa, año, origen y categoría, mejorando sustancialmente la eficiencia operativa.

La implementación del sistema de gestión de información multiplataforma para la recolección y seguimiento de aparatos eléctricos y electrónicos logró mejorar significativamente la trazabilidad y eficiencia en la gestión de RAEE en las instituciones afiliadas al proyecto I+D+i 2024 DIDE-UTA. El sistema desarrollado integra principios de economía circular, proporciona una solución tecnológica adaptada al contexto ecuatoriano, y establece una base sólida para la optimización de procesos de gestión de residuos electrónicos. Esta implementación contribuye a la sostenibilidad ambiental y operativa, alineándose con las tendencias globales de gestión responsable de RAEE y promoviendo un impacto positivo en el Cantón Ambato.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda crear un sistema de monitoreo de competencias digitales que rastree automáticamente qué funcionalidades utiliza cada usuario, identifique patrones de uso subóptimos, y sugiera capacitaciones específicas basadas en el análisis de su comportamiento en la plataforma. Este sistema generaría reportes personalizados de progreso tecnológico, recomendaría módulos de aprendizaje adaptados al rol específico del usuario y proporcionaría métricas de adopción tecnológica que permitan a las instituciones evaluar la efectividad de sus programas de capacitación digital.

Se sugiere desarrollar un simulador de práctica dentro de la plataforma que permita a los usuarios nuevos experimentar con todas las funcionalidades usando datos ficticios, sin riesgo de afectar la información real del sistema. Este entorno de pruebas incluiría escenarios típicos de uso como registro masivo de dispositivos, generación de reportes mensuales y seguimiento de estados de RAEE, permitiendo que el personal se familiarice completamente con la herramienta antes de trabajar con datos reales de sus respectivas instituciones.

Se recomienda desarrollar un programa estructurado de capacitación para usuarios del sistema en diferentes niveles. Esto incluye entrenamientos básicos para nuevos usuarios, sesiones avanzadas para administradores y talleres de actualización cuando se incorporen nuevas funcionalidades. Un programa de capacitación bien diseñado aseguraría que todas las personas involucradas aprovechen al máximo las herramientas disponibles y mantengan sus conocimientos actualizados conforme evolucione el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] V. Murthy y S. Ramakrishna, «A Review on Global E-Waste Management: Urban Mining towards a Sustainable Future and Circular Economy», *Sustainability*, vol. 14, n.º 2, Art. n.º 2, ene. 2022, doi: 10.3390/su14020647.

[2] «1 ALDAIR BENAVIDES.pdf». Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uniatlantico.edu.co/bitstream/handle/20.500.12834/711/1%20ALDAIR%20BENAVIDES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[3] A. F. Vallejo Cueva, «Aplicación multiplataforma (Web/Android) para la gestión y control del proceso de titulación de los estudiantes de la Facultad de Tecnologías de la Información, Telecomunicaciones e Industrial», ene. 2020, Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30731

[4] «Plataforma electrónica de gestión de RAEE», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 18 de junio de 2025. [En líne a]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/aparatos-electr/plataforma-electronica-gestion-raee.html

[5] «Guia-tecnica-para-la-gestion-integral-de-los-RAEE-2023-1.pdf». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://residuoselectronicosal.org/wp-content/uploads/2024/03/Guia-tecnica-para-la-gestion-integral-de-los-RAEE-2023-1.pdf

[6] «SGI-comercial-de-la-Empresa-Eléctrica-UEB-Guisa.pdf». Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.informatica-juridica.com/wp-content/uploads/2019/08/SGI-comercial-de-la-Empresa-El%C3%A9ctrica-UEB-Guisa.pdf

[7] Y. Hu, «Desarrollo de una aplicación web con Spring Boot y Vue.js para la gestión de una Librería online». Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://oa.upm.es/80355/

[8] vicente_s, «Dynamic Systems Development Method (DSDM)», Vicente SG. Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://vicentesg.com/dynamic-systems-development-method-dsdm/

[9] L. Angamarca y M. David, «Desarrollo de un sistema de monitoreo y rastreo de productos agrícolas utilizando IoT, caso de estudio cacao».

[10] A. Smartup, «React Native, Flutter y Xamarin, tres frameworks de garantía», Arangoya Centro Educativo. Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://arangoya.org/frameworks-desarrollo-flutter-vs-react-native-vs-xamarin/

[11] «content.pdf». Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d80cfc3f-5f12-405e-81ea-5c9e2dc059eb/content

[12] «RAEE y Economía Circular|FECE». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://fece.org/blog/2024/09/24/raee-y-economia-circular/

[13] U. N. Environment, «Perspectiva Mundial de la Gestión de Residuos 2024 | UNEP - UN Environment Programme». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.unep.org/es/resources/perspectiva-mundial-de-la-gestion-de-residuos-2024

[14] «Tendencias en el reciclaje de RAEE en 2024: avances sostenibles para un futuro digital responsable», Raee Andalucía. Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea].

Disponible en: https://www.raeeandalucia.es/actualidad/tendencias-en-reciclaje-raee-en-2024-avances-sostenibles-para-un-futuro-digital
[15] J. G. Hernández, «Hacia una economía circular: el sector de telecomunicaciones», Telefónica. Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/hacia-economia-circular-sector-telecomunicaciones/
[16] «Framework: qué es, para qué sirve y algunos ejemplos», UNIR FP. Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://unirfp.unir.net/revista/ingenieria-y-tecnologia/framework/
[17] 1 Carlos Andrés Castillo Yagual, M. A. Coronel Suárez, 1 Carlos Andrés Castillo Yagual, y M. A. Coronel Suárez, «Frameworks PHP basados en la arquitectura Modelo-Vista-Controlador para desarrollo de aplicaciones web», *Rev. Científica Tecnológica UPSE RCTU*, vol. 10, n.º 1, pp. 70-78, jun. 2023, doi: 10.26423/rctu.v10il.703.
[18] P. Pérez y C. Paul, «Análisis, diseño y desarrollo de un sistema modular de gestión de expedientes salesianos con enfoque full-stack para implementación a nivel nacional».
[19] «DigitAll 2024 | Telefónica Tech». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://digitall.telefonicatech.com/es
[20] «Qué es la gestión de sistemas de información - Universidad ORT Uruguay». Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://fi.ort.edu.uy/blog/que-es-la-gestion-de-sistemas-de-informacion
[21] «¿Para qué sirve un sistema gestor de base de datos? | Blog UE», Universidad Europea. Accedido: 6 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://universidadeuropea.com/blog/para-que-sirve-gestor-base-datos/
[22] «Arquitectura de Software ¿Que tipos hay?» Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.poli.edu.co/blog/poliverso/arquitectura-de-software-que-tipos-hay
[23] «MVC - Glosario de MDN Web Docs | MDN». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/MVC
[24] «Arquitectura MVT en Frameworks Web: Model, View y Template». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://platzi.com/cursos/django/entendiendo-la-arquitectura-de-django-mtv/
[25] «Patrón MVT: Modelo-Vista-Template | Curso de Django | Hektor Profe». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hektorprofe.github.io/django/web-personal/patron-mvt-modelo-vista-template/
[26] «¿Qué es la metodología ágil? ¿Para qué sirve?», Zendesk. Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.zendesk.com.mx/blog/metodologia-agil-que-es/
[27] J. Á. Cesaretti, A. Calabrese, L. Rocca, y L. Nahuel, «Derivación de un Proyecto Web a partir del Modelado Específico de Dominio de un Sistema de Información Sanitaria», presentado en Simposio Argentino de Ingeniería de Software (ASSE 2023) - JAIIO 52 (Universidad Nacional de Tres de Febrero, 4 al 8 de septiembre de 2023), 2023. Accedido: 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/165814
[28] «Metodologías ágiles: conoce Scrum, Lean, Kanban, XP y más». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.axialcrm.com/es/soporte-y-recursos/que-es-metodologia-agile/
[29] «(PDF) Comparación de metodologías ágiles para el desarrollo de software», *ResearchGate*, doi: 10.56048/MQR20225.8.1.2024.5052-5074.
[30] Atlassian, «Kanban frente a scrum», Atlassian. Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.atlassian.com/es/agile/kanban/kanban-vs-scrum

[31] «Metodologías agiles: Scrum y kanban y XP | OBS Business School». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.obsbusiness.school/blog/metodologias-agiles-scrum-y-kanban-y-xp
[32] «Metodologías Agile: ¿cuál es la mejor?» Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.grupocibernos.com/blog/desarrollo-de-software/metodologias-agile-cual-es-la-mejor
[33] «¿Cuál es la diferencia entre Waterfall, Agile, Kanban y Scrum? [2024] • Asana». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://asana.com/es/resources/waterfall-agile-kanban-scrum
[34] «¿Qué es el alojamiento web? | IBM». Accedido: 15 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ibm.com/es-es/think/topics/web-hosting
[35] «Web Hosting Services Market Size, Share, Global Report, 2032». Accedido: 21 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/web-hosting-services-market-100863
[36] «Web Hosting Services Market Size & Share Report, 2030». Accedido: 21 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/web-hosting-services-market
[37] Y. Tang, «Francis Turbine and Governor Improved Models Considering Step Closing Law of Guide Vanes for Power System Stability Analysis», *J. Power Energy Eng.*, vol. 02, n.º 09, pp. 125-131, 2014, doi: 10.4236/jpee.2014.29018.
[38] «5 Beneficios Económicos de una Gestión RAEE | ACS Recycling». Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://acsrecycling.es/beneficios-economicos-de-una-gestion-raee/
[39] «TRAZABILIDAD DE LOS RAEE|FECE». Accedido: 27 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://fece.org/blog/2019/11/06/trazabilidad-de-los-raee/
[40] «On the benefits and challenges of using kanban in software engineering: a structured synthesis study | Journal of Software Engineering Research and Development | Full Text». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://jserd.springeropen.com/articles/10.1186/s40411-018-0057-1
[41] «Agile Project Management with Kanban | Microsoft Press Store». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.microsoftpressstore.com/store/agile-project-management-with-kanban-9780735698956
[42] «Django introduction - Learn web development | MDN». Accedido: 4 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Extensions/Server-side/Django/Introduction
[43] «Best Popular Backend Frameworks by Performance Benchmark Comparison and Ranking in 2024», DEV Community. Accedido: 4 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://dev.to/tuananhpham/popular-backend-frameworks-performance-benchmark-1bkh
[44] R. Espinosa-Hurtado, «Análisis comparativo para la evaluación de frameworks usados en el desarrollo de aplicaciones web», *CEDAMAZ*, vol. 11, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2021, doi: 10.54753/cedamaz.v11i2.1182.
[45] «Gestão do desenvolvimento de software com o uso de quadro virtual Kanban/ Software development management with the use of Kanban virtual board | Brazilian Journal of Development». Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/22392
[46] I. Edet, «Empirical studies on agile software development : a systematic literature review», ene. 2019, Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en:

https://www.academia.edu/72872853/Empirical_studies_on_agile_software_development_a_systematic_literature_review
[47] D. P. Acharya, «Django vs Laravel: Which Is the Better Framework?», Kinsta®. Accedido: 5 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://kinsta.com/blog/django-vs-laravel/
[48] «Ejemplo formato ieee 830 - Especificación de requisitos de software Proyecto: Sistema de información - Studocu». Accedido: 5 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.studocu.com/co/document/universidad-catolica-de-colombia/ingenieria-de-software/ejemplo-formato-ieee-830/5670142
[49] «Software Engineering». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/software-engineering/P200000003258/9780137503148
[50] «Writing and running tests | Django documentation», Django Project. Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://docs.djangoproject.com/en/5.2/topics/testing/overview/
[51] «Software Quality Assurance - Software Engineering - GeeksforGeeks». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering-software-quality-assurance/
[52] «Django», Django Project. Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.djangoproject.com/
[53] «Django Tutorial Part 10: Testing a Django web application - Learn web development | MDN». Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Extensions/Server-side/Django/Testing
[54] «Writing and running tests | Django documentation», Django Project. Accedido: 18 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://docs.djangoproject.com/en/5.2/topics/testing/overview/

ANEXOS

Anexo A. Encuesta Inicial

Encuesta Inicial para saber la factibilidad y viabilidad del proyecto

SGI RAEE

Encuesta sobre la Implementación de un Sistema de Gestión de Información para Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)

¿A qué institución pertenece usted?

¿Es relevante para ti que el sistema permita rastrear el ciclo de vida de los RAEE desde la recolección hasta su disposición final?

¿Consideras que tu institución necesita un sistema que facilite la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

¿Consideras importante que un sistema de gestión sea accesible desde dispositivos móviles y de escritorio?

¿Te parece importante que el sistema sea fácil de usar por cualquier empleado de tu institución?

¿Crees que la falta de conocimiento técnico en tu institución podría ser una barrera para implementar este sistema?

¿Piensas que la falta de un sistema tecnológico afecta la eficiencia en la recolección y manejo de RAEE?

¿Crees que un sistema de gestión de información ayudaría a reducir el impacto ambiental de los RAEE?

¿Te parece importante que un sistema de gestión de RAEE registre el lugar exacto donde se encuentran los residuos?

¿Es importante que el sistema permita registrar información detallada del estado y categoría de los RAEE?

¿Piensas que el sistema debe ofrecer informes claros y detallados sobre la cantidad y tipo de RAEE recolectados?

¿Percibes que tu institución está preparada para adoptar un sistema de gestión de RAEE?

¿Estarías dispuesto(a) a participar activamente en la implementación del sistema en tu institución?

Anexo B. Alpha de Cronbach

Validación Alpha de Cronbach

Ítem	Descripción	Media	Desv. Est.	Varianza
P1	Trazabilidad del ciclo de vida	3.92	0.730	0.5325
P2	Necesidad del sistema	4.31	0.606	0.3669
P3	Accesibilidad multiplataforma	4.08	0.615	0.3787
P4	Facilidad de uso	4.15	0.361	0.1302
P5	Barrera técnica (inversa)	3.08	0.730	0.5325
P6	Eficiencia del sistema	3.46	0.634	0.4024
P7	Impacto ambiental	4.00	0.679	0.4615
P8	Ubicación de residuos	4.08	0.474	0.2249
P9	Información detallada	4.00	0.555	0.3077
P10	Informes claros	4.15	0.533	0.2840
SUMA	Varianzas de ítems			3.6213

Nota: Escala Likert de 5 puntos (1=Totalmente en desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

Resumen del análisis de confiabilidad

Parámetro	Valor
Número de ítems (k)	10
Número de participantes (n)	13
Suma de varianzas de ítems ($\Sigma\sigma_i^2$)	3.621302
Varianza de puntuaciones totales (σ_t^2)	12.792899
Factor de corrección [k/(k-1)]	1.1111
Alpha de Cronbach (α)	0.7966

Criterios de interpretación del Alpha de Cronbach

Rango de α	Interpretación
$\alpha \geq 0.90$	Excelente consistencia interna
$0.80 \leq \alpha < 0.90$	Buena consistencia interna
$0.70 \leq \alpha < 0.80$	Consistencia interna aceptable
$0.60 \leq \alpha < 0.70$	Consistencia interna cuestionable
$\alpha < 0.60$	Consistencia interna pobre

Resultado de la validación del instrumento

Aspecto	Resultado
Alpha de Cronbach obtenido	0.7966
Clasificación	Consistencia interna aceptable
Cumple criterio mínimo ($\alpha \geq 0.70$)	SÍ
Validez del instrumento	VÁLIDO
Recomendación	Instrumento apto para la investigación

Anexo C. Levantamiento de Requerimientos Norma IEE 830

Levantamiento de Requerimientos Norma IEE 830

1.Documento de Especificación de Requisitos de Software (SRS)

1.1 Introducción

El presente documento es una Especificación de Requisitos de Software (ERS) para el Sistema de Gestión de Información Multiplataforma para el Tratamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) del proyecto de investigación I+D+i 2024 DIDE - UTA en colaboración con el GAD Municipal del Cantón Ambato. Esta especificación de requerimientos se encuentra estructurada en base a las directrices dadas por el estándar IEEE Práctica Recomendada para Especificaciones de Requisitos de Software ANSI/IEEE 830, 1998.

1.2 Proposito

El presente documento tiene como propósito definir las especificaciones funcionales y no funcionales para el desarrollo de un sistema multiplataforma que permitirá gestionar la recolección, seguimiento y trazabilidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el marco de la economía circular. Este sistema será utilizado por el personal administrativo de las instituciones afiliadas al proyecto: Universidad Técnica de Ambato (UTA), GAD Municipal del Cantón Ambato e Instituto Superior Tecnológico Tungurahua.

1.3 Alcance

El sistema permitirá registrar empresas recolectoras, usuarios responsables y dispositivos electrónicos recuperados, almacenando información relevante como categoría, peso, origen, estado y destino final. Se ofrecerá funcionalidades para la trazabilidad de los dispositivos y generación de reportes de gestión.

1.4 Definiciones, acrónimos y abreviaturas

Nombre	Descripción
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
ERS	Especificación de Requisitos de Software
RF	Requerimiento Funcional
RNF	Requerimiento No Funcional
SGI	Sistema de Gestión de Información
UTA	Universidad Técnica de Ambato
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
API	Application Programming Interface
UML	Unified Modeling Language

1.5 Referencias

Normativa ecuatoriana de manejo de RAEE

Estándares de economía circular aplicados a residuos electrónicos

1.6 Visión general

El documento está organizado en secciones que describen la perspectiva general del producto, sus funciones, características de usuarios, restricciones, requisitos específicos y anexos.

2. Descripción general

2.1 Perspectiva del producto

El sistema funcionará como una aplicación web responsive, con versiones adaptadas para desktop y móvil, conectada a una base de datos centralizada. Será utilizado por empresas registradas y autoridades municipales.

2.2 Funciones del producto

Registro y actualización de empresas recolectoras de RAEE

Gestión de usuarios asociados a empresas

Registro de aparatos eléctricos y electrónicos recolectados

Asignación de estado (reparado, reciclado, desechado) a cada aparato

Reportes de gestión por empresa y por tipo de residuo

Autenticación de usuarios (login y recuperación de contraseña)

2.3 Características de los usuarios

Superusuario/Administrador: Gestiona empresas y usuarios

Usuario empresa: Registra y gestiona RAEE

Personal de recolección: Solo ingresa información de aparatos

2.4 Restricciones

La aplicación debe ser accesible desde navegadores web estándar.

La aplicación debe cumplir con los principios de usabilidad y accesibilidad.

Base de datos centralizada y segura.

Cumplir con la legislación ambiental vigente en Ecuador.

2.5 Suposiciones y dependencias

Se asume que las empresas tendrán acceso a internet.

Dependencia de una infraestructura de servidor cloud.

3. Requisitos específicos

3.1 Requisitos funcionales

RF01: El sistema debe permitir crear y registrar nuevas empresas recolectoras.

RF02: El sistema debe permitir registrar usuarios asociados a cada empresa.

RF03: El sistema debe permitir registrar RAEE ingresando: categoría, peso, cantidad, estado, origen, fecha de ingreso y descripción.

RF04: El sistema debe permitir al administrador listar, buscar y editar registros de RAEE.

RF05: El sistema debe permitir a los usuarios generar reportes de residuos gestionados.

3.2 Requisitos no funcionales

RNF01: El sistema debe soportar al menos 50 usuarios concurrentes.

RNF02: El sistema debe tener disponibilidad del 99% del tiempo.

RNF03: El sistema debe asegurar que los datos estén protegidos mediante cifrado.

RNF04: La interfaz de usuario debe ser intuitiva y adaptativa (responsive).

3.3 Requisitos de interfaces

Interfaz de usuario: Diseño responsivo adaptable a computadoras y dispositivos móviles.

Interfaz de hardware: No requiere dispositivos especiales; basta un navegador web moderno.

Interfaz de software: Puede integrarse a sistemas de seguimiento gubernamentales mediante API REST en una fase futura.

4. Apéndices

Información sobre las categorías de RAEE según clasificación internacional.

Formularios de registro de empresa, usuario y residuos.

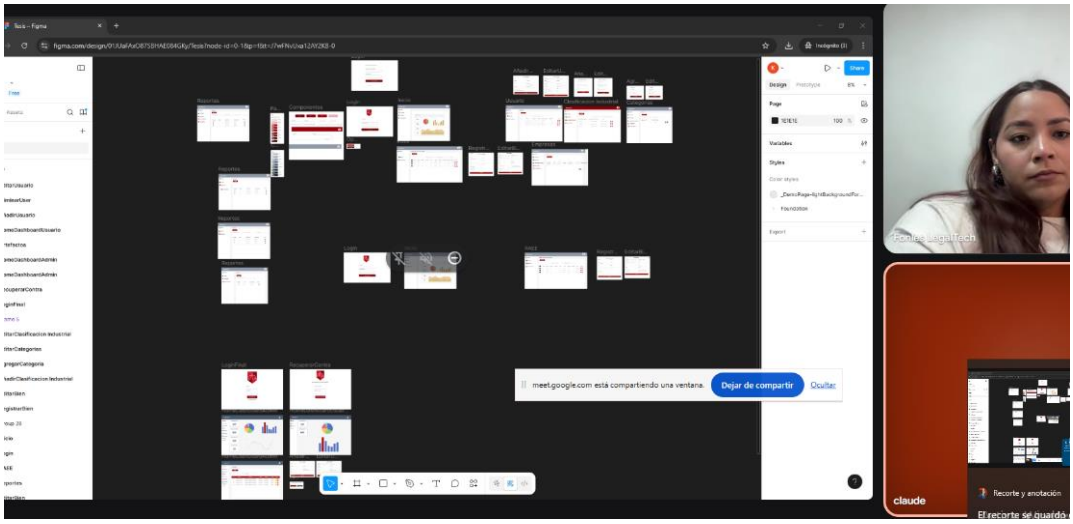
5. Índice de palabras clave

RAEE, residuos electrónicos, economía circular, trazabilidad, reciclaje, gestión ambiental.

Anexo D. Reuniones.

Reuniones

Durante el desarrollo del sistema de gestión de información para RAEE, se realizaron reuniones periódicas con los stakeholders del proyecto para presentar los avances del sistema y recopilar retroalimentación valiosa. En la imagen se evidencia una de estas sesiones de trabajo donde se presentaron las funcionalidades desarrolladas del sistema multiplataforma, permitiendo a los participantes del proyecto I+D+i 2024 DIDE-UTA evaluar la interfaz, validar los requerimientos implementados y proporcionar observaciones específicas para el refinamiento del producto final. Estas reuniones fueron fundamentales para asegurar que el sistema cumpliera con las expectativas de los usuarios finales y se alineara con los objetivos de mejora en la gestión de residuos electrónicos establecidos en la investigación**.**



Anexo E. Manual de Usuario

Manual de Usuario



Este manual proporciona una guia rápida y sencilla para el uso del sistema de gestión de información de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Está dirigido a los usuarios del sistema, explicando los pasos necesarios para iniciar sesión, registrar datos, gestionar empresas, RAEE, categorias y actividades económicas. Su propósito es facilitar la correcta utilización de cada módulo y asegurar una experiencia de uso eficiente y segura.

Conexión a Internet
Asegúrese de contar con una conexión estable a Internet, ya que el sistema funciona en linea y requiere acceso al servidor para operar correctamente.
Navegador Recomendado
Utilice navegadores modernos como Google Chrome, Mozilla Firefox o Microsoft Edge para garantizar compatibilidad y mejor rendimiento..
Permisos de Usuario
Algunas funcionalidades estarán disponibles solo para usuarios con permisos especificos (por ejemplo, administrador vs. usuario normal).
Dispositivos Compatibles
El sistema es responsive, por lo tanto puede ser utilizado desde computadoras, tabletas o teléfonos móviles, aunque se recomienda su uso en pantallas medianas o grandes para mayor comodidad.



Beneficios para su Empresa

Sostenibilidad
Reduzca su huella ecológica. Contribuya a un futuro más verde.

Eficiencia Operativa
Optimice sus procesos. Ahorre tiempo y recursos.

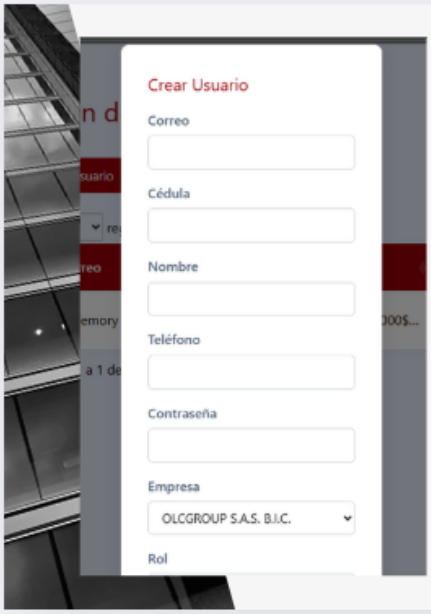
Cumplimiento Normativo
Asegure la conformidad con regulaciones ambientales.

Reducción de Costos
Minimice gastos asociados a la gestión de residuos.

INGRESO AL SISTEMA

Paso 1: Acceda a la URL del sistema proporcionada por el administrador.
Paso 2: Ingrese sus credenciales (correo electrónico y contraseña).
Paso 3: Haga clic en "Iniciar Sesión". Si sus credenciales son correctas, accederá al panel principal.





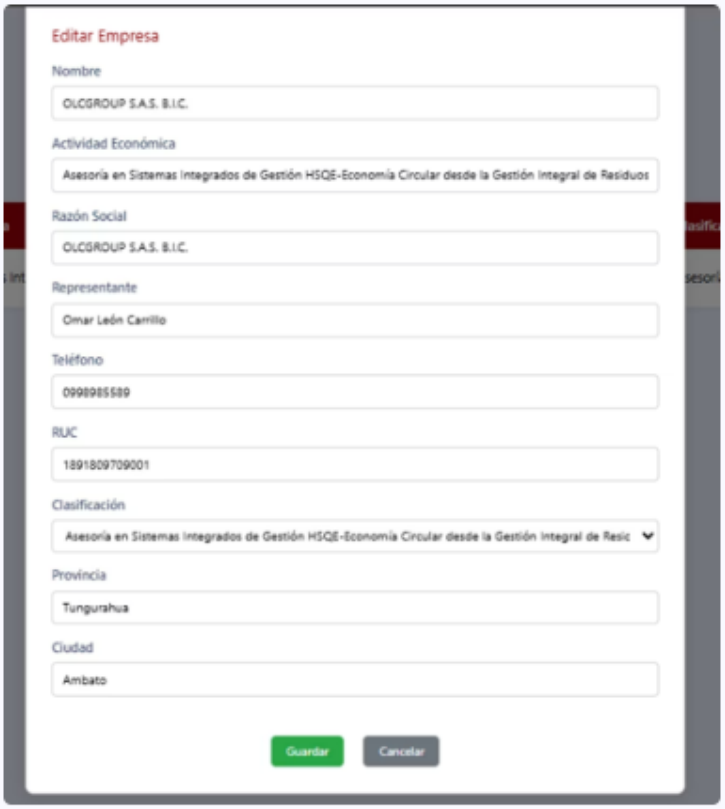
GESTION DE USUARIO

- **Ver usuarios:** muestra la lista de usuarios registrados.
- **Agregar usuario:** permite registrar un nuevo usuario con nombre, correo y rol.
- **Editar usuario:** actualiza la información de un usuario.
- **Eliminar usuario:** elimina un usuario del sistema (solo disponible para administradores).



Almacenamiento de Informacion

Para Guardar Informacion netamente completa los campos solicitados para que posterior se muestren en la tabla



Presionamos en Guardar

GESTIÓN DE EMPRESAS



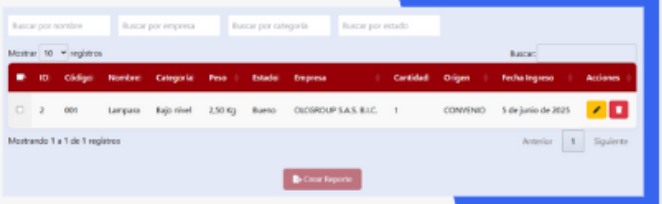
- Registrar empresa: permite ingresar datos como razón social, RUC, teléfono, representante legal, etc.
- Editar empresa: modifica los datos de empresas existentes.
- Eliminar empresa: permite eliminar registros de empresas cuando ya no están activas.

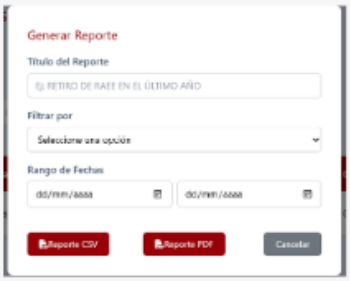


- Listar categorías: muestra todas las categorías existentes.
- Agregar categoría: permite crear una nueva categoría de RAEE.
- Editar categoría: actualiza el nombre o descripción.
- Eliminar categoría: elimina categorías que no están en uso.

GESTIÓN DE RAEE

- **Listar RAEE**: visualiza todos los aparatos registrados.
- **Agregar RAEE**: permite registrar información del aparato como nombre, categoria, estado, peso, origen, etc.
- **Editar RAEE**: modifica la información de un aparato ya registrado.
- **Eliminar RAEE**: elimina un RAEE del sistema.
- **Generar reporte**: exporta los datos de RAEE en formato descargable.



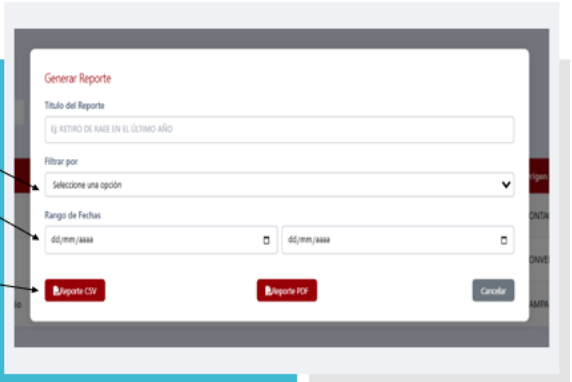




GENERACIÓN DE REPORTES

•**Configure los filtros deseados: :** Seleccione el filtro del cual desea generar el reporte
•**Rango de fechas:** Defina fecha de inicio y fin

Tipos de Reportes Disponibles
El sistema permite generar reportes en dos formatos:
•**Excel (CSV):** Para análisis y manipulación de datos
•**PDF:** Para presentación e impresión





Visualizamos el reporte generado


Katerin Cecen
AYUDA Y SOPORTE TÉCNICO
TELÉFONO
0978913018
CORREO
Katerincecen2001@gmail
.com

Anexo F. Encuesta de Usabilidad

Encuesta Final de Usabilidad

Información General

Total de participantes: 13

Tipo de encuesta: Evaluación de usabilidad del sistema RAEE

Escalas utilizadas: Dicotómica (Si/No) y Likert de 5 puntos

PREGUNTA 1

¿El sistema es fácil de usar?

Opciones de respuesta:

a) Si

b) No

Distribución de respuestas:

Si: 12 participantes (92.3%)

No: 1 participante (7.7%)

PREGUNTA 2

¿La interfaz es clara y amigable?

Opciones de respuesta:

a) Muy en desacuerdo

b) En desacuerdo

c) Neutral

d) De acuerdo

e) Muy de acuerdo

Distribución de respuestas:

De acuerdo: 7 participantes (53.8%)

Muy de acuerdo: 5 participantes (38.5%)

Muy en desacuerdo: 1 participante (7.7%)

PREGUNTA 3

¿El sistema permite registrar fácilmente los RAEE?

Opciones de respuesta:

a) Muy en desacuerdo

b) En desacuerdo

c) Neutral

d) De acuerdo

e) Muy de acuerdo

Distribución de respuestas:

De acuerdo: 7 participantes (53.8%)

Muy de acuerdo: 5 participantes (38.5%)

Muy en desacuerdo: 1 participante (7.7%)

PREGUNTA 4

¿La información ingresada se almacena correctamente?

Opciones de respuesta:

a) Muy en desacuerdo

b) En desacuerdo

c) Neutral

d) De acuerdo

e) Muy de acuerdo

Distribución de respuestas:

Muy de acuerdo: 8 participantes (61.5%)

De acuerdo: 4 participantes (30.8%)

Muy en desacuerdo: 1 participante (7.7%)

PREGUNTA 5

¿El sistema tiene buena velocidad de respuesta?

Opciones de respuesta:

a) Muy en desacuerdo

b) En desacuerdo

c) Neutral

d) De acuerdo

e) Muy de acuerdo

Distribución de respuestas:

De acuerdo: 6 participantes (46.2%)

Muy de acuerdo: 5 participantes (38.5%)

Neutral: 1 participante (7.7%)

Muy en desacuerdo: 1 participante (7.7%)

PREGUNTA 6

¿Estoy satisfecho/a con el sistema en general?

Opciones de respuesta:

a) Muy en desacuerdo

b) En desacuerdo

c) Neutral

d) De acuerdo

e) Muy de acuerdo

Distribución de respuestas:

Muy de acuerdo: 9 participantes (69.2%)

De acuerdo: 3 participantes (23.1%)

Muy en desacuerdo: 1 participante (7.7%)

Encuesta Umux

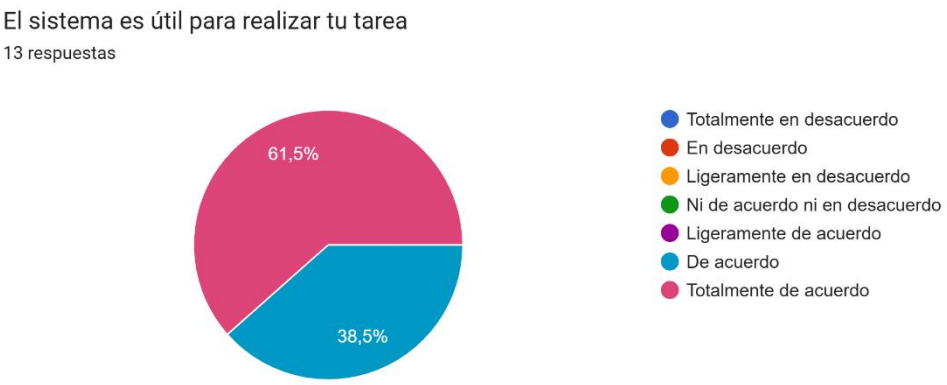
Instrucciones para el usuario:
Por favor, indique en qué medida está de acuerdo con las siguientes afirmaciones sobre el sistema que ha utilizado. Utilice la siguiente escala:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
- 2 = En desacuerdo
- 3 = Ligeramente en desacuerdo
- 4= Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 5= Ligeramente de acuerdo
- 6= De acuerdo
- 7= Totalmente de acuerdo

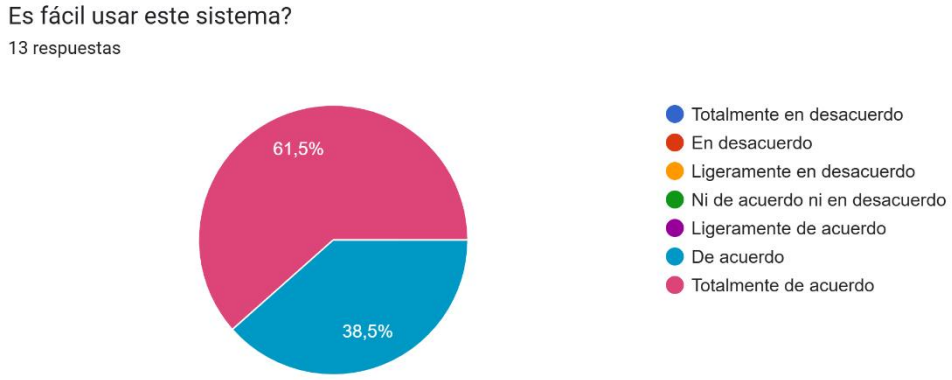
Para evaluar la percepción de los usuarios finales sobre la utilidad del sistema desarrollado, se aplicó la encuesta UMUX (Usability Metric for User Experience). Esta herramienta se utilizó con el objetivo de medir la utilidad percibida del sistema desde la perspectiva del usuario final, a través de afirmaciones como:

Preguntas:

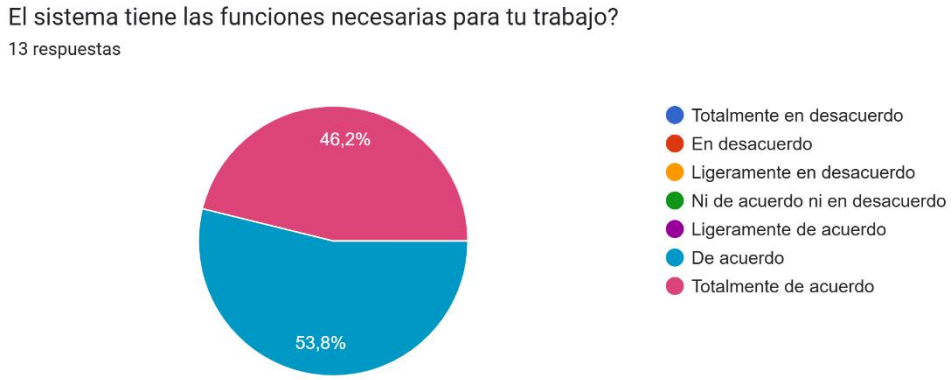
El sistema es útil para realizar tus tareas.



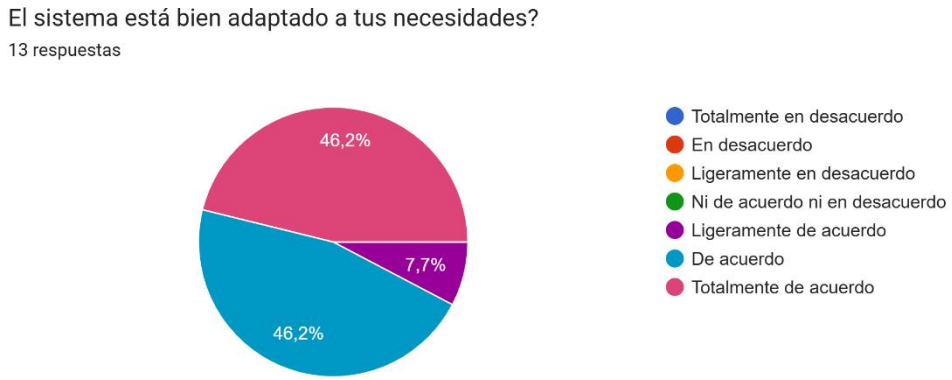
Es fácil usar este sistema.



El sistema tiene las funciones necesarias para tu trabajo.



El sistema está bien adaptado a tus necesidades.



Modelo de Calidad ISO/IEC 25010:2023

Anexo G. Norma **ISO/IEC** 25010:2023

La norma ISO/IEC 25010:2023 forma parte de la familia de normas SQuaRE (System and Software Quality Requirements and Evaluation), y establece un modelo integral para la evaluación de la calidad del producto de software y de la calidad en uso. Esta norma sustituye a versiones anteriores con una estructura más detallada y adaptada a los requerimientos actuales de la ingeniería del software.

2.X.1 Calidad del Producto

El modelo de calidad del producto de la norma ISO/IEC 25010:2023 está compuesto por ocho características principales, cada una con subcaracterísticas específicas que permiten evaluar el sistema desde una perspectiva técnica y funcional:

Adecuación funcional: Evalúa si el software proporciona funciones que satisfacen las necesidades explícitas e implícitas del usuario.

Eficiencia de desempeño: Mide el rendimiento del sistema en relación con los recursos utilizados.

Compatibilidad: Evalúa la capacidad del software para operar en entornos diversos.

Usabilidad: Determina el grado de facilidad con el que el sistema puede ser comprendido, aprendido y usado por los usuarios.

Fiabilidad: Mide la capacidad del sistema para mantener su desempeño bajo condiciones específicas.

Seguridad: Evalúa la protección de la información y los datos.

Mantenibilidad: Determina qué tan fácilmente se puede modificar el sistema.

Portabilidad: Evalúa la facilidad con la que el sistema puede ser trasladado a otros entornos.

2.X.2 Calidad en Uso

Además de evaluar la calidad del software como producto, la norma incluye un modelo de calidad en uso, centrado en el comportamiento del sistema durante su operación en condiciones reales. Este modelo considera:

Efectividad

Eficiencia

Satisfacción del usuario

Protección frente a riesgos

Cobertura del contexto

2.X.3 Aplicación en la presente investigación

Para evaluar la calidad del sistema desarrollado para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), se aplicó el cuestionario UMUX (Usability Metric for User Experience) a los usuarios finales del sistema.

El cuestionario UMUX está diseñado para medir dos dimensiones clave del modelo ISO/IEC 25010:

Adecuación funcional, mediante ítems que consultan sobre si el sistema tiene las funciones necesarias.

Usabilidad, evaluando la facilidad de uso, satisfacción y aprendizaje percibido.

El uso de UMUX permite una evaluación cuantitativa alineada con estándares internacionales, proporcionando una base sólida para determinar la utilidad del sistema desde la perspectiva del usuario.