

**PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA
LA SELECCIÓN DE EMPAQUES DE PLÁSTICO, VIDRIO Y LATA EN EL PROCESO
DE RECICLAJE**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero de Sistemas

DIANA LUZ PACHÓN ESPINEL

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA EXTENSIÓN CHÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

2018

**PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO CON VISIÓN ARTIFICIAL PARA
LA SELECCIÓN DE EMPAQUES DE PLÁSTICO, VIDRIO Y LATA EN EL PROCESO
DE RECICLAJE**

DIANA LUZ PACHÓN ESPINEL

561214166

DIRECTOR

MGS.ING. JAIRO EDUARDO MÁRQUEZ DÍAZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA EXTENSIÓN CHIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca, por su aporte para la adquisición de conocimientos y competencias a lo largo de la preparación de esta profesión.

Agradezco también a mi director de proyecto de grado Msc. Ing. Jairo E. Márquez D., por su valiosa dirección, apoyo y disposición de su experiencia para guiar este proyecto.

Igualmente elevo un agradecimiento especial al Ingeniero Arles Prieto Moreno, por su valiosa colaboración en el desarrollo del proyecto de grado.

Así mismo agradezco a la señora Deira Suarez, por brindar su experiencia y conocimiento desde la coordinación del programa de gestión integral de residuos sólidos, del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a mi familia y seres queridos, por mostrarme su ejemplo de disciplina y perseverancia, que han sido el apoyo fundamental para lograr los objetivos propuestos.

RESUMEN.

La integración de aprendizaje profundo o *Deep Learning* en los procesos de reciclaje, puede contribuir de manera significativa al cuidado y preservación del medio ambiente. Con base en esta afirmación, se desarrolló el proyecto de grado, cuyo objetivo fue realizar un prototipo de sistema automatizado que integra visión artificial para la selección de empaques de plástico, vidrio y lata. Se eligió la metodología Agile Kanban, que permite optimizar la secuencia de trabajo, ya que representa visualmente las tareas a desarrollar y su estado.

Como punto de partida se realizó una entrevista la cual facilitó la diagramación de requerimientos, con ello se implementó una estandarización para clasificar los diferentes materiales. El núcleo del prototipo fue la integración de una red neuronal convolucional, este algoritmo efectúa la clasificación del material entre plástico, vidrio y lata, con un margen de error del 5%. También, se conectó con un modelo a escala, mediante arduino que facilita el control de un conjunto de motores para un prototipo simulado, este se encuentra limitado por una serie de restricciones técnicas y de hardware, propias de un entorno controlado, de forma que el integrar visión artificial con un sistema automatizado para la clasificación de plástico, vidrio y lata se evidenció viable según los resultados obtenidos.

Palabras clave:

Aprendizaje profundo, Arduino, Procesamiento de imágenes, Red neuronal convolucional, Visión artificial.

ABSTRACT.

The integration of deep learning in recycling processes can contribute significantly to the care and preservation of the environment. Based on this statement, the degree project was developed, whose objective was to make a prototype of an automated system that integrates artificial vision for the selection of plastic, glass and tin packaging. The Agile Kanban methodology was chosen, which allows to optimize the work sequence, since it visually represents the tasks to be developed and their status.

As a starting point an interview was conducted which facilitated the layout of requirements, based on this, a standardization was implemented to classify the different recyclable materials. The nucleus of the prototype was the integration of a convolutional neuronal network, which makes the classification of plastic, glass and tin materials, with a margin of error of 5%. Also, it was connected to a scale model, by means of an arduino that facilitates the control of a set of motors for a simulated prototype, this is limited by a series of technical and hardware restrictions, typical of the environment in which it is desired to use. Consequently, the results of integrating artificial vision with an automated system for the classification of waste are viable according to the results obtained.

Keywords:

Arduino, Artificial vision, Convolutional neuronal network, Deep learning, Image processing.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
RESUMEN.....	5
Palabras clave:	5
ABSTRACT.....	6
Keywords:	6
TABLA DE CONTENIDO.....	7
LISTA DE FIGURAS.	11
CAPÍTULO 1.	14
INTRODUCCIÓN.	14
1. PROBLEMA.	15
1.1 Planteamiento del Problema.	15
1.2 Formulación del problema.	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo general.	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. ALCANCES Y LIMITACIONES.	18
3.1 Alcances.	18
3.2 Limitaciones.....	18
4. JUSTIFICACIÓN.....	20
5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	21
CAPÍTULO 2.	22

	8
6. MARCO TEÓRICO.....	22
6.1 Marco referencial.....	22
6.1.1 Crossorter.	22
6.1.2 Sistema EGREEN.	23
6.1.3 Sadako Technologies WALL-B.	23
6.1.4 Drones para el cuidado del medio ambiente.	23
6.1.5 Visión artificial para clasificar de forma automática los residuos.	24
6.2 Marco conceptual.....	26
6.2.1 Arduino	27
6.2.2 Convolución.....	27
6.2.3 Deep learning.....	27
6.2.4 Imagen especular.	28
6.2.5 Reflexión especular y difusa.....	29
6.2.6 Matlab.	29
6.2.7 MySQL Workbench.....	29
6.2.8 Sistemas de control.	30
6.2.9 Visión artificial.	31
6.3 Marco Ingenieril.....	33
6.3.1 Machine learning.	34
6.3.2 Teoría de sistemas clasificadores basados en reglas.	35
6.3.3 Sistema de reconocimiento de patrones.	36
6.3.4 Red neuronal convolucional.....	36
6.3.5 Conectividad dispersa.....	37
6.3.6 Pesos compartidos.....	38
6.3.7 Sistemas de control.	38

	9
6.3.8 Handshaking.....	39
6.3.9 Comunicación serial arduino.	39
6.3.10 Ultrasonido HC-SR04.	40
6.3.11 Cámaras Industriales.....	40
6.3.12 Estandarización de residuos reciclables.....	41
CAPÍTULO 3.	43
7. METODOLOGÍA.....	43
8. DESARROLLO DEL PROYECTO.	46
8.1 Desarrollo de la Metodología.	46
8.1.1 Recolección de la información.	46
8.1.2 Identificación de requerimientos	48
8.1.3 Diseño de software.	52
8.1.4 Diseño de base de datos.	62
8.1.5 Flujo de navegación.	64
8.1.6 Diagrama electrónico.....	66
8.1.7 Desarrollo.....	67
8.2. Costo del proyecto.....	75
9. TESTER.....	77
9.1 Aplicación de pruebas.....	78
CAPÍTULO 4.	83
10. CONCLUSIONES.	83
11. RECOMENDACIONES.	84
12. PROYECCIONES.	85
REFERENCIAS.....	86

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Tipos de Iluminación (Rodríguez & all et., (s.f.).)	33
Tabla 2. Estandarización de colores para contenedores. (INCONTEC, 2009).....	42
Tabla 3. Metodología Ágil Kanban.	44
Tabla 4. Ficha CU01 Registro de usuarios	56
Tabla 5. Ficha CU02 Editar datos de usuario	58
Tabla 6. Ficha CU03 Consulta de usuario	59
Tabla 7. Ficha CU04 Clasificar residuos	62
Tabla 8. Costo del proyecto	76
Tabla 9. Prueba MOD01	78
Tabla 10. Prueba MOD02	80
Tabla 11. Prueba de rendimiento.	82

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Prototipo para la clasificación automática de residuos (Montoya, 2016)	25
Figura 2. Procesamiento de imágenes.....	30
Figura 3. Estructura sistema de control, (Turmero, 2018).	31
Figura 4. Clasificadores basados en reglas. (Vega, 2014).	35
Figura 5. Sistema de reconocimiento de patrones (Reconocimiento de patrones, (s.f.).).....	36
Figura 6. Esquema red neuronal convolucional (Carreño, 2017).	37
Figura 7. Sistema de control de lazo abierto del proyecto	38
Figura 8. Ubicación de líneas de comunicación serial.....	39
Figura 9. Ultrasonido HC-SR04	40
Figura 10. Proceso de reciclaje	41
Figura 11. Diagrama de requisitos funcionales.....	49
Figura 12. Diagrama de requisitos no funcionales: escalabilidad.....	50
Figura 13. Diagrama requisitos no funcionales: eficiencia.....	51
Figura 14. Estandarización de residuos por colores.....	52
Figura 15. Perfiles de actores.....	52
Figura 16. Casos de uso relacionados con el registro de información de usuarios.....	53
Figura 17. CU01 flujo para registro de usuarios.....	54
Figura 18. CU01 diagrama extendido para registro de usuarios.....	55
Figura 19. CU02 diagrama extendido para edición de usuarios.	57
Figura 20. CU03 Diagrama extendido de consulta de usuarios.....	59
Figura 21. Caso de uso: CU04 Clasificación de residuos.....	60
Figura 22. CU04 Flujo para clasificación de residuos.....	61
Figura 23. Diagrama de clase.....	63
Figura 24. Diagrama de Interfaces.....	64
Figura 25. Diagrama de flujo general	65
Figura 26. Diagrama electrónico.....	66
Figura 27. Diagrama de conexiones.....	67
Figura 28. Conexión con base de datos.	68

	12
Figura 29. Fragmento de código entrenamiento de red neuronal convolucional.....	69
Figura 30. Entrenamiento red neuronal convolucional.....	70
Figura 31. Cinta transportadora	71
Figura 32. Cableado y energía.	72
Figura 33. Contenedor giratorio.....	72
Figura 34. Conexión de arduino - matlab	73
Figura 35. Funcionamiento de hardware.	74
Figura 36. Funcionamiento de Software.....	74
Figura 37. Diagrama de pruebas	77
Figura 38. Prueba de Login.....	79
Figura 39. Términos y condiciones.....	79
Figura 40. Prueba de registro, búsqueda y edición	79
Figura 41. Prueba MOD02.....	81
Figura 42. Prueba MOD03.....	82

TABLA DE ANEXOS.

ANEXO A.....	90
ANEXO B.....	91
ANEXO C.....	92
ANEXO D.....	93

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN.

Históricamente el ser humano ha realizado innumerables esfuerzos por optimizar procesos y facilitar el desarrollo de tareas cotidianas. En la actualidad uno de los temas primordiales para la sociedad, es mantener un equilibrio entre el medio ambiente y el desarrollo de la humanidad, para lo cual se hace necesario evaluar los avances tecnológicos aplicados en diferentes campos y analizar los resultados que se han obtenido, como ejemplo existen fabricas e industria que gracias a estas investigaciones han implementado el uso de máquinas automáticas programables, aptas para ejecutar actividades repetitivas o peligrosas, de manera autónoma. En este contexto y frente a la exigencia de sistematizar procesos como el reciclaje que contribuyen en disminuir la necesidad de nuevas materias primas, se ha diseñado un prototipo de sistema automatizado integrado con diferentes técnicas informáticas y de procesamiento de imágenes, que contribuye en la selección de empaques de plástico, vidrio y lata.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una investigación sobre la actual manera de cómo se clasifican los residuos, lo que permitió diseñar una parametrización en cuanto a la funcionalidad del prototipo, a partir del cual se elaboró una interfaz en Matlab, ya que este software permite incorporar algoritmos de aprendizaje profundo (*Deep learning*) a la programación, lo que resulta práctico especialmente debido a que facilita leer de manera eficiente lotes grandes de imágenes para entrenar redes neuronales convolucionales. Este prototipo funciona teniendo en cuenta algunos factores como la preselección de residuos, o la clasificación únicamente de aquellos para los cuales haya sido parametrizado.

Para facilitar la ejecución del proyecto se empleó una metodología Agile, conocida como Kanban, con el propósito de optimizar la secuencia de trabajo en relación con las actividades que representa cada etapa.

Finalmente, lo que se busca es mostrar la funcionalidad de este prototipo como un ejemplo de la aplicación de técnicas informáticas y de control al servicio del equilibrio ambiental.

1. PROBLEMA.

1.1 Planteamiento del Problema.

La generación per cápita de residuos sólidos se mide en términos de la cantidad de toneladas que genera una persona por año. Para Colombia los resultados publicados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2017), *muestran en el balance ambiental y económico de flujo de materiales, la cifra promedio de 410 kilogramos de residuos per cápita en el año 2015*. Esta información permite estimar el incremento de residuos para los próximos años, lo que sugiere que la falta de un sistema eficiente de reciclaje propicia el desecho de elementos potencialmente provechosos en beneficio de la industria y el medio ambiente.

De las basuras generadas, en promedio el 17% está siendo reciclado (Botero, 2017), esta cifra tan baja, en parte se debe a la inadecuada separación de residuos en la fuente, ya que no se procede con un filtro exigente en el proceso de recolección, la evidencia de esta falla, se encuentra fácilmente en la inspección de los vertederos, donde llegan diariamente toneladas de residuos mal clasificados, originando reproceso de selección y ocasionando vectores contaminantes.

Los rellenos sanitarios, no cuentan con un proceso sistematizado de reciclaje, este lugar no es el adecuado para que personas lleven a cabo esta actividad, debido a que están expuestas a infecciones, lesiones o enfermedades, pese a esto *según la unidad administrativa especial de servicios públicos en estas condiciones se obtiene un aprovechamiento en promedio del 15% de los residuos*. (UAESP, 2017).

Con el proceso actual desarrollado manualmente, no se optimizan los recursos como tiempo y cantidad de materiales clasificados, por lo cual el porcentaje de residuos reciclados es bajo. Producto de la esta práctica improvisada en los vertederos, se presentan consecuencias como daños ambientales, problemas de salubridad a la población, así como desaprovechamiento de recursos y materias primas.

En conclusión, debido al tradicional proceso de reciclaje, se está perdiendo materia prima, que eventualmente, puede reintegrarse al ciclo de vida útil, esto por la falta de implementación de un sistema de control que optimice el proceso de clasificación.

1.2 Formulación del problema.

¿A través del desarrollo de un prototipo de sistema automatizado con visión artificial se puede demostrar la viabilidad de seleccionar empaques de plástico, vidrio y lata, en el proceso de reciclaje?

2. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo general.

Desarrollar un prototipo de sistema automatizado que integre visión artificial, para la selección de empaques de plástico, vidrio y lata, definidos en la parametrización del sistema, con el propósito de contribuir en la tecnificación del proceso de reciclaje.

2.2 Objetivos específicos.

- Investigar acerca de la normatividad existente, en cuanto a la clasificación de residuos reciclables en Colombia, y con base en ello, parametrizar el sistema automatizado.
- Plantear un diseño de hardware y software, apoyado en el análisis de las características relevantes, que se adapten a las necesidades propias de un sistema automatizado, para la selección de material reciclable.
- Realizar el prototipo, estableciendo los modelos algorítmicos más apropiados del aprendizaje profundo y de arduino que permitan articular el software con el hardware.
- Efectuar pruebas, que permitan adecuar el funcionamiento del sistema automatizado, con la finalidad de cumplir con los resultados esperados.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES.

3.1 Alcances.

Con el proyecto se busca desarrollar un prototipo de sistema automatizado, empleando algoritmos de aprendizaje profundo (*Deep Learning*), particularmente redes neuronales convolucionales, que permitan la clasificación de residuos reciclables de la gama de empaques de plástico, vidrio, y lata, llevado a cabo en un espacio controlado.

En la elaboración del prototipo, se da prioridad a los requerimientos de funcionalidad, estableciendo los módulos esenciales, y se restringe el hardware a componentes de uso académico, no industrial, para realizar la estructura.

Para ejecutar el aplicativo se puede llevar a cabo de dos maneras, la primera es teniendo todo el hardware instalado, según el esquemático electrónico, junto con la instalación de librerías y complementos, o bien probar la clasificación que realiza la red neuronal convolucional, para lo cual debe contar con los complementos y librerías de la cámara web a emplear. Existe una variante en este punto, en la que también puede subir alguna imagen desde el ordenador, con el objetivo de observar la funcionalidad de la red neuronal convolucional.

3.2 Limitaciones.

La construcción del prototipo se encuentra limitado a la demostración de su funcionalidad, en un ambiente controlado ya que en esta propuesta no se plantea un diseño industrial. Inicialmente se debe realizar una preselección de los residuos, el funcionamiento integral del sistema se encuentra restringido al tiempo de procesamiento de imágenes, cuyos algoritmos pueden llegar a ser robustos, y centrado únicamente en la clasificación de empaques de plástico, vidrio y lata parametrizados desde la base de datos del sistema. Se debe controlar el nivel de luminosidad y

brillo de la cámara empleada, así como del ambiente. También se debe preinstalar complementos y librerías que dan soporte al hardware empleado.

En referencia al hardware se recomienda para equipos con procesador Intel core i3, i5 e i7 de sexta generación en adelante, y contar con una webcam de 1.3 megapíxeles o superior. Si implementa hardware se recomienda arduino mega 2560, servomotores de torque metálico, y sensor de ultrasonido HCSR04.

4. JUSTIFICACIÓN.

El proyecto surge de la necesidad de un proceso sistematizado de selección de materiales reciclables, fundamentado en ofrecer una alternativa a la creciente producción de desechos principalmente de embalajes, para reintegrarlos al ciclo económico y de vida útil, el cual permita obtener la mayor cantidad de residuos que puedan ser utilizados como materia prima, favoreciendo su temprano aprovechamiento, minimizando con ello el impacto negativo que puedan generar al medio ambiente.

La práctica actual de reciclaje no es óptima, pues expone a una población vulnerable a realizar procesos de separación de residuos, generando un alto índice de accidentes laborales y desconfianza en el proceso. Con el desarrollo de este proyecto se busca diseñar un prototipo que posibilite tecnificar esta labor, y brindar una ayuda para quienes trabajan en este oficio. Para ello, se recurre a la tecnología informática *deep learning*, implementada con un sistema electrónico, que permita realizar la identificación de los residuos reciclables, y seleccionarlos de acuerdo con una estandarización y normatividad, haciendo uso de redes neuronales convolucionales.

Al realizar este proyecto, se pretende familiarizar a la comunidad con sistemas autónomos que propicien hábitos de salubridad, cultura y modernización en el proceso del reciclaje, a través de un prototipo capaz de contribuir en el equilibrio del ecosistema, mediante herramientas tecnológicas.

5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Software, Sistemas Emergentes y Nuevas Tecnologías: Fomentar en los estudiantes la planeación, análisis, diseño, desarrollo, implantación y mantenimiento de aplicaciones; la capacidad liderazgo, la aplicación de últimas tecnologías para asegurar la calidad en las soluciones informáticas que las organizaciones requieran basándose en los estándares reconocidos nacionales e internacionales. Conjunto de programas, subprogramas y menús que se elaboran a manera de aplicaciones y/o paquetes para cumplir un fin específico.

Diseño e Instrumentación y Control: Comprende aplicaciones de Robótica, Simulación, Biomédica, Industria, Agrónica y de Telecomunicaciones usadas para medir alguna propiedad natural, psicológica o social. Pretende Integrar la técnica informática con los sistemas modernos de producción y las herramientas de modelaje matemático y así ampliar el conocimiento de las nuevas tecnologías informáticas y metodologías de análisis de las empresas buscando así el mejoramiento continuo, mayor calidad y competitividad. Fomentar a los estudiantes con conocimientos teórico - prácticos, capaces de planear, diseñar, analizar, adaptar, interpretar, implementar, diagnosticar y administrar sistemas de automatización y control de máquinas aportándole nueva tecnología país, mediante modernos conocimientos y técnicas garantizando el mejoramiento continuo y optimizando el cumplimiento de las metas de las organizaciones nacionales e internacionales.

CAPÍTULO 2.

6. MARCO TEÓRICO.

6.1 Marco referencial.

En la actualidad muchos países desarrollados como Suiza y Holanda son pioneros en el desarrollo de sistemas eficientes para llevar a cabo el reciclaje de residuos, a lo que se suma el nivel cultural de la población, y su anhelo por mantener buenas prácticas en cuanto al proceso de clasificación como parte de su cotidianidad, esto facilita la tecnificación de los procesos para transformar los materiales reciclados. De igual manera es elemental resaltar el interés de otras regiones que proponen iniciativas con mucho potencial. En referencia al desarrollo de este proyecto es fundamental mencionar las siguientes:

6.1.1 Crossorter. Es un clasificador "cross-belt" adecuado para una amplia variedad de productos como sobres, bolsas, cajas, bandejas y canastillas (totes). También *puede clasificar artículos sueltos, como ropa y accesorios.* (Vanderlande, 2018).

Este sistema cuenta con cámaras-escáner y una moderna banda transportadora conveniente para la industria, ya que permite optimizar procesos en las variables de tiempos de trabajo y costos financieros. Este sistema se destaca por el reducido tiempo en el análisis de cada imagen para su clasificación por lo cual ha sido adoptado por muchos textilerías y fábricas en general.

Aunque este clasificador no se encuentra directamente enfocado en materiales reciclables, se analiza su funcionamiento para tener una idea de estandarización de elementos, ya que ejecuta esta función en segundos, de igual modo para detallar como se realiza el proceso para la separación de elementos.

6.1.2 Sistema EGREEN. Patentada en España por Environmental Green Engineering, S.L., *sistema basado en visión artificial multiespectral y tecnologías complementarias, para la separación de residuos sólidos urbanos, por medio de sensores ópticos e implementados en plantas de tratamiento de residuos.* (Seguí, 2014).

Esta técnica de visión artificial multiespectral, promete ser una solución viable para el reciclaje, en la que se disponen sensores ópticos, bajo la gestión de inteligencia artificial.

El procesamiento robusto, y la innovación son factores importantes en la búsqueda de soluciones a la problemática de manejo de residuos urbanos. Esta novedosa técnica es una importante referencia respecto al prototipo a desarrollar, en relación con la estructura empleada, siendo un potencial objeto de análisis en cuanto a las características del hardware, sus componentes y adaptabilidad.

6.1.3 Sadako Technologies WALL-B. *Sistema complementario a las plantas de manejo de residuos, cuya función es detectar y recuperar materiales con el objetivo de utilizarse en áreas donde no se requiera de equipos para el procesamiento de residuos.* (RETEMA, 2015).

La implantación de sistemas complementarios, en los procesos de reciclaje, contribuye en la reducción de material a procesar en las grandes plantas de tratamiento, y apoyan la tarea desde lugares con bajos índices de producción de desechos.

Esta tecnología también concebida para un eficiente funcionamiento industrial, bajo un modelo integral de manejo de residuos, tiene un procesamiento de imagen óptimo, que le permite responder en conjunto con el hardware, al tiempo estimado para la clasificación. Su estructura está compuesta por un brazo con ejes de movimiento y cámaras para la detección, e integrado con un sistema de bandas transportadoras.

6.1.4 Drones para el cuidado del medio ambiente. *Investigadores del Instituto Tecnológico de Boca del Río, que pertenece al Tecnológico Nacional de México, trabajan monitoreando playas a través de drones y el escaneo de imágenes mediante un software, para conocer la cantidad de plásticos desechados.* (Conacyt, 2017).

Este proyecto busca principalmente medir la cantidad de desechos y realizar una clasificación, por cuadrantes, donde inicialmente hacen una caracterización de residuos, luego

a través del uso de drones, se realiza la captura de imágenes, en las que se identifican los residuos, particularmente PET. El reconocimiento de imágenes se realiza mediante el uso del software Matlab y algoritmos de reconocimiento e integración con redes neuronales.

Esta tecnología facilita la ubicación de residuos reciclables, para que puedan ser trasladados a zonas de tratamiento y aprovechamiento de materiales, mejorando la condición de las playas, lo que atrae turismo e incrementa el bienestar de la población.

6.1.5 Visión artificial para clasificar de forma automática los residuos. El Proyecto “Prototipo electrónico que permite la clasificación automática de residuos”. Proyecto propuesto por estudiante de doctorado en ingeniería- sistema e informática, de la universidad nacional de Colombia. *Es un prototipo integrado con visión artificial, para indicar al usuario de canecas recolectoras de basuras, la correcta clasificación de residuos, implementado en la fuente de separación, el cual incluye una interfaz de usuario y reconocimiento de voz.* (Briñez de León, 2016).

Este planteamiento realizado por un grupo de colombianos, en una sociedad donde el nivel de reciclaje, en relación con los desechos generados es mínimo, tiene como finalidad instruir a la población en la correcta clasificación de residuos en la fuente.

Este desarrollo se difunde como una figura representativa del alcance de los robustos algoritmos de visión artificial, empleados para el reconocimiento de diferentes materiales, articulado con una aplicación móvil. Aunque las medidas pedagógicas para mitigar los desaciertos en la separación de residuos tienen un impacto favorable al funcionar como un filtro inicial, no es lo suficiente, y siempre debe ir respaldada por un sistema calificado de clasificación en la disposición final. El prototipo se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Prototipo para la clasificación automática de residuos (Montoya, 2016)



En este contexto de investigación, se plantea un prototipo a nivel de escala, que incorpora técnicas de reconocimiento por visión artificial mediante un aplicativo desarrollado en Matlab y un hardware que contribuye en la separación de residuos según las especificaciones.

6.2 Marco conceptual.

En este apartado inicialmente se realiza la definición de los conceptos fundamentales, los cuales se extienden en todo el proyecto y representan en sí mismos la estructura del prototipo.

Plástico. *“Material constituido por una variedad de compuestos orgánicos, sintéticos o semisintéticos, son típicamente polímeros de alto peso molecular, usualmente se sintetizan a partir de derivados químicos del petróleo (petroquímicos), también existen, plásticos derivados de fuentes renovables, como el ácido poliláctico”.* (Wordreference, (s.f.)).

Una elevada cantidad de los productos consumidos hoy en día son de plástico, su degradación es difícil e incrementa la contaminación del medio ambiente, por lo cual resulta conveniente su reciclaje, para incluirlo de nuevo como materia prima.

Vidrio. *“Material inorgánico duro, frágil y amorfo, según su viscosidad se obtiene aproximadamente a 1500 °C a partir de arena de sílice (SiO_2), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y caliza (CaCO_3).”* (Castells , 2013).

El proceso del reciclaje del vidrio garantiza la esterilización del material y lo regresa a su ciclo de vida útil, siendo así aprovechado por muchas fabricas y embotelladoras de alimentos y bebidas.

Lata. *“Es un recipiente metálico usado como envase opaco para líquidos y productos en conserva. Los materiales de fabricación más habituales son la hojalata y el aluminio. Actualmente, siete de cada diez latas son de aluminio y tres de acero laminado.”.* (González, (s.f.)).

Debido a los materiales con los que se realiza este tipo de recipiente, reciclarlos constantemente contribuye en el ahorro de los recursos empleados en su producción, y además resulta menos contaminante que producir acero de nuevo.

En la actualidad ha incrementado el interés de la sociedad en el desarrollo de innovaciones destinadas al cuidado del medio ambiente y gracias a las diversas herramientas informáticas es trascendental seleccionar las más apropiadas según las especificaciones del proyecto, razón por la cual se amplían los siguientes conceptos que están relacionados con el prototipo a desarrollar:

6.2.1 Arduino. *“Compañía open source y open hardware, de placas para construir dispositivos digitales interactivos que puedan sensor y controlar objetos del mundo real. Arduino facilita el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios.” [...]. (Arduino, 2018).*

Para el desarrollo de este proyecto se emplea la placa mega 2560, con la cual se busca controlar los diferentes componentes del prototipo, como lo son servomotores y sensores, a través de una interfaz realizada en Matlab, en particular se empleó la comunicación por puerto serial, que permite la automatización del prototipo, de acuerdo con los requerimientos.

Una restricción que presento la placa de arduino al ser incorporada en la interfaz de matlab, es que no permite la creación de múltiples conexiones, y deben realizarse procesos sucesivos. Para hacer uso de esta herramienta en matlab, se recomienda conocer con antelación el puerto de comunicación.

6.2.2 Convolución. Es una función de forma lineal y continua, que transforma una señal de entrada en una nueva señal de salida. *Esta función se expresa por el símbolo *.* Se concibe como un sistema unidimensional, en el que $g(x)$ convoluciona $f(x)$. (Sugrañes, (s.f.)). La función de convolución se expresa como:

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x') g((x - x')) dx' \quad (1)$$

Esta función es aprovechada en las redes neuronales convolucionales, permite capturar la mayor cantidad de cualidades de una imagen de entrada, gracias a su transformación y la aplicación de capas 2D que permiten el procesamiento de imágenes.

6.2.3 Deep learning

El Deep Learning o aprendizaje profundo es un subcampo dentro del Machine Learning, el cuál utiliza distintas estructuras de redes neuronales para lograr el aprendizaje de sucesivas capas de representaciones cada vez más significativas de los datos. El deep learning hace referencia a la cantidad de capas de representaciones que se utilizan en el modelo; en general se suelen utilizar decenas o incluso cientos de capas de representación. las cuales aprenden automáticamente a medida que el modelo es entrenado con los datos. [...]. (Briega, 2018).

El aprendizaje profundo tiene diversas aplicaciones en la actualidad, entre las cuales se encuentran campos como la salud, sistemas de conducción y reconocimiento de imágenes para sistemas de seguridad. Sus robustos algoritmos han cambiado la manera de percibir las imágenes, ya que permiten extraer cuantiosos datos de gran relevancia, e interactuar con ellos.

Los datos por preferencia para aplicar aprendizaje profundo son imágenes, texto o sonido, estos son la base de entrenamiento de lo que se busca que el sistema realice, en primer lugar, se extrae información para que el sistema aprenda las características y pueda ser usado por un clasificador de imágenes en procesos específicos.

El aprendizaje profundo es una técnica basada en estructuras lógicas, por la cual un sistema, aprende a realizar tareas a partir de imágenes, texto o sonido, estos modelos pueden en ocasiones superar el rendimiento humano. (Mathworks, (s.f.)), Con esto en mente, el aprendizaje profundo se destaca como herramienta útil para el análisis de imágenes, con el objetivo de recuperar información de un entorno, aplicando técnicas de *Machine Learning* (ML) y modelos algorítmicos distinguidos por una estructura sencilla, adaptable y, con una robusta capacidad de procesamiento.

6.2.4 Imagen especular. *Es la generada mediante la reflexión de la luz en una superficie especular, donde los rayos incidentes se reflejan con un ángulo igual al de incidencia (ambos tomados con respecto a la perpendicular al plano en ese punto).* (Wikipedia, 2017). En los residuos a clasificar se encuentran elementos de lata, que por su material son propensos a esta propiedad en mayor cantidad que los demás materiales, por lo tanto, resulta de importancia tener en cuenta esta característica, que puede afectarse en mayor medida si se encuentra un foco directo o una gran intensidad de iluminación.

Las diferentes superficies de residuos de lata pueden ser rugosas o lisas, y algunas contienen etiquetas de otros materiales como el papel, que dificultan la obtención de características, no obstante, una vez entrenada la red neuronal convolucional con estos materiales los reconocerá y clasificará según la estandarización parametrizada en el aplicativo.

6.2.5 Reflexión especular y difusa. *La reflexión difusa se produce cuando los rayos de luz chocan con una superficie rugosa (sin forma plana), provocando que los rayos reflejados salgan en direcciones muy distintas (depende de la forma de la superficie).* (Esacademic, (S.F.).).

Para la adecuada ejecución del proyecto se debe emplear una iluminación que permita a la red neuronal tolerar los efectos de iluminación y obtener las cualidades de cada tipo de residuo, de forma clara, para reducir el margen de error.

6.2.6 Matlab. (Abreviatura de Matrix Laboratory, "laboratorio de matrices") *es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con lenguaje de programación propio (lenguaje M). Disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux, [...].* ((s.f.), 2018).

Matlab cuenta con una amplia gama de complementos y librerías, entre las cuales se encuentra arduino, cámaras web, kinect. Igualmente tiene incorporado suficientes ejemplos de algoritmos entre otros, relacionados con redes neuronales y deep learning. Brinda soporte de ayuda, e incluye videotutoriales como material de apoyo. La versión empleada para el desarrollo del proyecto fue 2018a.

6.2.7 MySQL Workbench. *Es una herramienta visual para arquitectos de bases de datos, desarrolladores y DBA. MySQL Workbench proporciona modelado de datos, desarrollo de SQL y herramientas integrales de administración para la configuración del servidor, administración de usuarios, etc.* (MySQL Workbench, 2018).

Para el prototipo propuesto se diseñó una base de datos, que mediante el conector ODBC 5.1, permite la interacción de Matlab con los usuarios y permite gestionar el acceso al aplicativo.

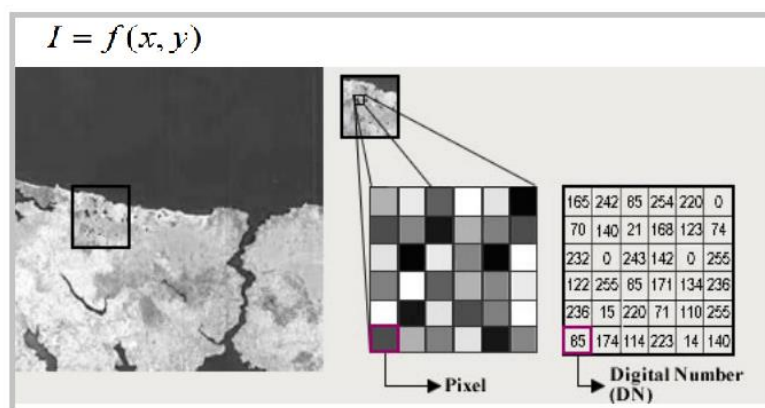
6.2.8. Procesamiento de imágenes. *El procesamiento digital de imágenes es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.* ((s.f.), wikipedia.org, 2018).

El procesamiento de imágenes ha tenido una evolución asombrosa, aunque tiene un alto costo de procesador, los resultados son excepcionales, se pueden utilizar diferentes complementos GPU, que aceleran estos procesos, entre las más conocidas se encuentra NVIDIA

CUDA. El procesamiento de imágenes tiene relación directa con la aplicación de matemática como transformada de Fourier entre otros, al igual que la aplicación de filtros, recortes y variaciones de color, que permiten mejorar una imagen, o detallar sus características particulares.

Una imagen puede ser modelada por una función continua de valores reales como una función de la intensidad de luz, donde X e Y son las coordenadas espaciales y el valor I el brillo de la imagen en dichas coordenadas. (La Cruz, (s.f.).) En términos gráficos, el procesamiento de imágenes se sintetiza en la figura 2.

Figura 2. Procesamiento de imágenes, se define una función $f(x, y)$ que identifica la imagen I , la cual es descompuesta en cuadrículas denominadas pixeles, donde cada uno se caracteriza por una serie de valores que representa los valores de escala de grises y número de bits.



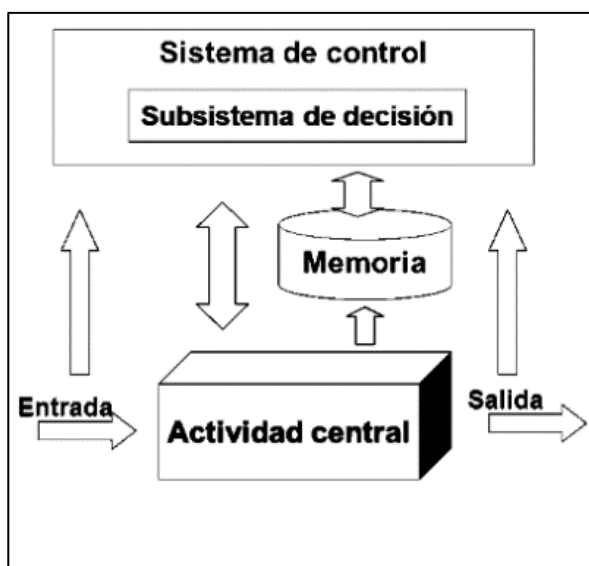
En esta imagen se puede detallar como un filtro de tamaño determinado recorre cada pixel de la imagen en búsqueda de singularidades como bordes que permitan reconocer la imagen bajo diferentes contextos.

6.2.8 Sistemas de control. Los sistemas automatizados mejoran la productividad, de cualquier proceso, según (Turmero, 2018). *Un sistema automatizado de clasificación, es el que controla un ambiente recibiendo datos, procesándolos y devolviéndolos con la suficiente rapidez como para influir en dicho ambiente.*

Complementando esta definición, se muestra la figura 3, en la cual se observa la línea de proceso que regularmente tiene un sistema automatizado, este consta de una acción de entrada,

bien sea por un sensor, un sistema manual o una acción de otro sistema de control, posteriormente se ejecuta una actividad central de procesamiento, la cual tiene consulta o interacción con memoria RAM o bases de datos, a continuación se ejecuta una consulta de validación la cual permite o niega la continuidad del proceso para generar una respuesta o acción de salida.

Figura 3. Estructura sistema de control, (Turmero, 2018).



6.2.9 Visión artificial. La visión artificial es una disciplina que incluye métodos para adquirir, procesar y analizar imágenes con el fin de producir información que pueda ser tratada por una máquina y así poder tomar decisiones para automatizar cualquier proceso. (Contaval, 2016).

En la última década se ha escuchado con mayor frecuencia de inteligencia artificial, la cual se comprende como una subdisciplina de la informática, con el objetivo de recrear comportamientos humanos. La idea principal de la visión artificial conllevó a comprender la magnitud de información que representan las imágenes.

Las investigaciones cada vez más exhaustivas acerca del funcionamiento del cerebro y del paradigma de la inteligencia humana han permitido que la AI evolucione, por medio de las redes neuronales artificiales. (Hernández & et., 2018). En este sentido, actualmente resalta la importancia de la visión artificial, debido a los poderosos resultados que ha obtenido en diferentes campos de la ciencia e ingeniería.

La visión artificial representa el proceso por el cual los ordenadores tienen una comprensión de una imagen, mediante algoritmos que las descomponen en píxeles, para luego hacer un análisis. Existen diferentes componentes que afectan los sistemas de visión artificial, entre los cuales se encuentra el nivel de iluminación de ambiente, el tipo de cámara empleado, la capacidad de procesamiento del ordenador, los algoritmos e interfaces, así como los actuadores externos del proceso, estos dependen de que tan robusto sea el sistema a desarrollar, y los requerimientos del mismo.

Los sistemas de visión artificial pueden procesar información en tiempo real, factor que resulta útil en procesos de producción, sistemas de seguridad y análisis de tráfico.

Con la visión artificial se identifica la localización y orientación de un objeto, a través de la herramienta guiada, la cual requiere la correspondencia de patrones geométricos que son tolerantes a variaciones como contraste, iluminación, escala, rotación y otros factores. (Ikusmen, 2016).

La aplicación de la visión artificial aporta calidad a los procesos ya que detecta errores inmediatos, disminuye costos y es realizada en tiempos eficientes.

Para llevar a cabo un buen proceso con visión artificial resulta necesario adaptar las condiciones de iluminación adecuadas, por lo cual en la **tabla 1** se muestran algunos detalles relacionados con esta que deben ser tenidos en cuenta.

Tabla 1. Tipos de Iluminación (Rodríguez & all et., (s.f.).)

Requerimiento	Tipo de objeto examinado	Tipo de Iluminación
Reductor de especularidad	Objetos Brillantes	Difusa frontal, Difusa Axial
Iluminación de Objetos	Cualquier tipo de objetos	Difusa frontal, Difusa Axial
Superficies con defectos	Objetos de piso cercano (2-D)	Direccional simple, estructurada
Texturas altamente iluminadas	Cualquier tipo de objeto	Direccional, luz estructurada
Reducción de sombras	Objetos con protuberancias (3D)	Frontal difuso, Difusa Axial
Defectos de alta iluminación	Objetos Transparentes	Campo Oscuro
Perfil de objetos en formas de 3-D	Objetos sin protuberancias (3D)	Luz Estructurada

El estado de iluminación del ambiente donde se captura la imagen, debe ser particularmente estudiado, dado que el prototipo realizará la captura de diferentes materiales con propiedades propensas a perturbaciones con diferentes estados de iluminación.

Se debe adaptar el ambiente con la adecuada iluminación para objetos brillantes, por lo cual se hace necesario reducir la especularidad que pueda presentarse al capturar una imagen, con ello se asegura la correcta clasificación del material.

6.3 Marco Ingenieril

La clasificación de objetos en imágenes es fundamental para el desarrollo de los objetivos del proyecto, es por esto importante profundizar sobre diferentes técnicas o modelos que permitan el reconocimiento de elementos en capturas de imagen, para identificar las ventajas de aplicar cada uno, así como la flexibilidad que pueda tener en relación a los requisitos de uso. También, se amplía información sobre sistemas de control, ya que se debe realizar la integración de software y hardware.

6.3.1 Machine learning. Aprendizaje automatizado o de máquinas, es un área de la inteligencia artificial enfocado en el desarrollo de algoritmos para que los ordenadores comprendan un entorno, esto se hace a través de programas que proporcionan información base, con la finalidad de realizar un entrenamiento para que se reconozcan características bajo diferentes condiciones, valorando su nivel de eficiencia y tolerancia a cambios. Este tipo de aprendizaje puede practicarse de tres formas diferentes:

6.3.1.1 Aprendizaje supervisado. Es un tipo de algoritmo que emplea un conjunto de datos conocidos, para el entrenamiento de un sistema, para realizar predicciones. *El conjunto de información de entrenamiento incluye datos de entrada y valores de respuesta, para crear un modelo que pueda realizar predicciones acerca de los valores de respuesta para un nuevo conjunto de datos.* (Mathworks, (s.f.).)

En este tipo de algoritmo se enseña al ordenador mediante ejemplos de datos, un valor y la respuesta que se espera, para lo cual el aprendizaje consiste en encontrar la ruta, que se adapte y brinde la respuesta que se le ha enseñado. En el caso de las imágenes se crea un modelo de datos, con dos referencias, una etiqueta del objeto y una imagen donde se identifica el objeto, generalmente resaltado con colores, por ejemplo, colores intensos en el objeto y colores grises en el entorno, o una misma fotografía en la que aparezca el objeto y otra en la que no este, para identificar su ausencia, esto facilita la tarea de aprendizaje, aunque incrementa profundamente la tarea de entrenamiento, suponiendo que el conjunto de datos mínimo sea de mil imágenes, el entrenador debe etiquetar cada imagen y aplicar algún tipo de filtro para el aprendizaje

6.3.1.2 Aprendizaje no supervisado. Son aquellos algoritmos en los que no se dispone de una batería de ejemplos previamente clasificados, sino que únicamente a partir de las propiedades de los ejemplos se intenta dar una agrupación (clasificación) según sus semejanzas. (Caparrini, 2017).

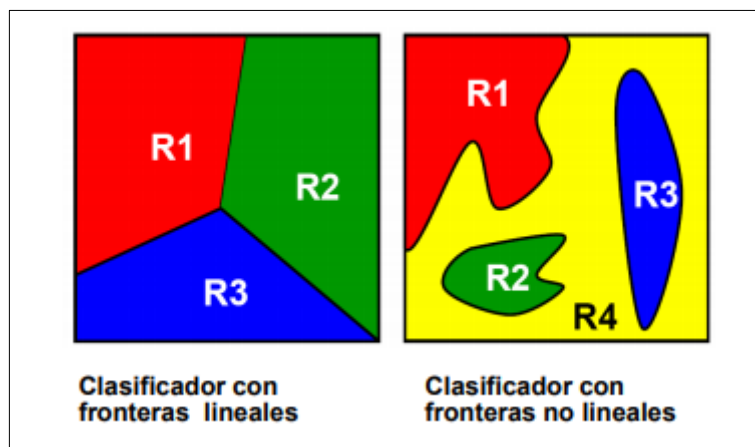
En este tipo de algoritmo el ordenador realiza toda la tarea, desde aplicar escala de grises, identificar bordes, segmentar la imagen, y recuperar detalles minuciosamente, para brindar una respuesta de agrupación de los objetos ingresados.

6.3.1.3 Aprendizaje por refuerzo. Este algoritmo requiere de un supervisor que da información sobre si lo está haciendo bien o mal, pero no exactamente lo que debe hacer. (Sánchez, (s.f.).).

En este caso el algoritmo aprende a decidir frente a una situación determinada, y ejecuta una acción dependiendo de la decisión tomada, esto se realiza mediante una secuencia de prueba y error, que a largo tiempo brinda excelentes resultados, aunque implica el acompañamiento y guía en el aprendizaje de la máquina.

6.3.2 Teoría de sistemas clasificadores basados en reglas. Un clasificador es un algoritmo usado para asignar un elemento no etiquetado a una categoría concreta. (Vega, 2014). Esta clasificación se define por las características del objeto, como tamaño, textura, etc., y para realizarse deben existir fronteras entre las categorías, frecuentemente se hace mediante ejemplos de cada categoría.

Figura 4. Clasificadores basados en reglas. (Vega, 2014).

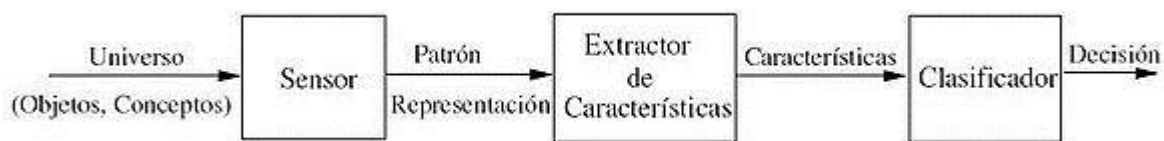


En la figura 4, se puede observar la diferencia entre las reglas aplicadas en cada clasificador, y como estas pueden favorecer el aprendizaje.

6.3.3 Sistema de reconocimiento de patrones. *Tiene el objetivo de clasificar elementos en un número específico de categorías o clases, encontrando pixeles particulares que permiten predecir una estructura completa.* (Reynaga, (s.f.).).

Mediante el reconocimiento de patrones se puede identificar el límite de un elemento en una imagen, así extraer particularmente las características que lo componen, esto con base en la segmentación de una imagen, para ello se debe contar con un banco de imágenes, de ellas se extraen las características, para ser filtradas y clasificadas, como se puede ver en la figura 5.

Figura 5. Sistema de reconocimiento de patrones (Reconocimiento de patrones, (s.f.).)



6.3.4 Red neuronal convolucional. *Es una red multicapa que consta de n capas convolucionales y de submuestreo alternadas, y al final tiene capas de conexión total como una red perceptrón multicapa.* (Calvo, 2017). Estas redes neuronales se caracterizan por entrenarse a partir de imágenes, su entrenamiento es rápido y son muy eficientes en los procesos de clasificación.

Su estructura en general está compuesta por una capa inicial de datos, es decir un comprimido de imágenes, texto o sonido, etiquetado según su clasificación, seguido por iteraciones de una capa convolucional que extrae las características más representativas y una capa de reducción o de pooling, para la cual se debe definir el tamaño de pixeles de un filtro que realiza un barrido por toda la imagen, capturando detalles más complejos, para brindar los resultados y clasificación, comúnmente se emplean neuronas de perceptrón.

“Cada capa tiene M mapas de igual tamaño (M_x, M_i). Un núcleo de tamaño (K_x, K_y) es desplazado sobre la región válida de la imagen de entrada. Los factores de omisión S_x y S_y definen cuántos píxeles se

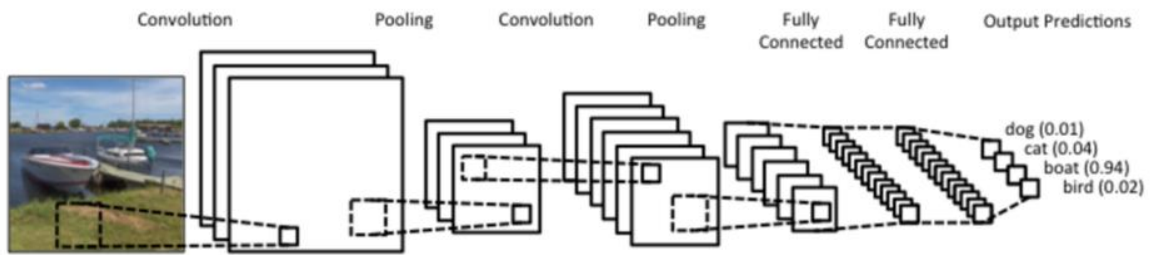
salta el filtro / kernel en $[x, y]$ dirección y entre las convoluciones posteriores. El tamaño del mapa de salida se define según la ilustración". (Ciresan & all. et., (s.f.).).

El mapa de salida red neuronal convolucional está representado por las siguientes ecuaciones:

$$M_x^n = \frac{M_x^{n-1} - K_x^n}{S_x^n + 1} + 1; \quad M_y^n = \frac{M_y^{n-1} - K_y^n}{S_y^n + 1} + 1 \quad (2)$$

La funcionalidad de una red neuronal convolucional en un proceso repetitivo suele ser muy efectivo, razón por la cual se emplea para la clasificación de residuos como plástico, vidrio y lata, como se observa en la figura 6, la red neuronal va recorriendo la imagen y tomando filtros por cuadros para realizar comparativas ente capas de convolución y clasificación (pooling).

Figura 6. Esquema red neuronal convolucional (Carreño, 2017).



6.3.5 Conectividad dispersa. Las CNNs explotan la correlación espacialmente local al imponer un patrón de conectividad local entre las neuronas de las capas adyacentes. En otras palabras, las entradas de unidades ocultas en la capa m provienen de un subconjunto de unidades en la capa $m-1$, unidades que tienen campos receptivos espacialmente contiguos. (LISA lab, University of Montreal, 2015).

En este contexto, las CNNs evalúan el contorno del ambiente de percepción, y correlacionan información de las otras capas, extendiendo su campo de percepción hacia la capa superior y disminuyendo hacia la siguiente capa inferior.

6.3.6 Pesos compartidos.

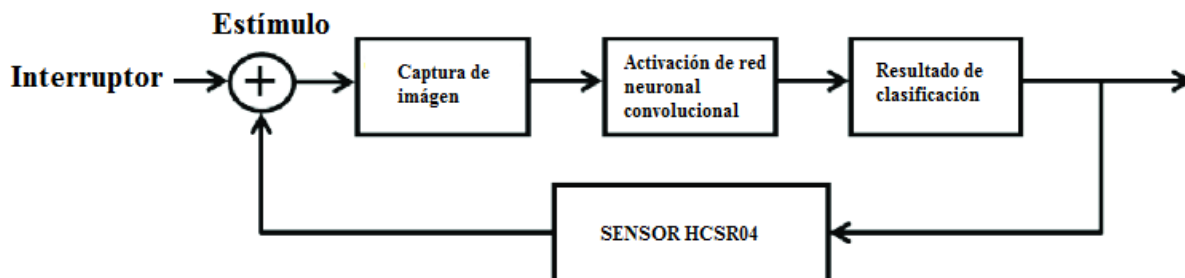
“En las CNN, cada filtro hi se replica en todo el campo visual. Estas unidades replicadas comparten la misma parametrización (vector de peso y sesgo) y forman un mapa de características. En otras palabras, los pesos con características iguales son compartidos, mientras el gradiente de pendiente aprende esas características compartidas. El gradiente de un peso compartido es simplemente la suma de los gradientes de los parámetros que se comparten.” (LISA lab, University of Montreal, 2015).

Según lo expuesto un mapa de características se obtiene mediante la aplicación repetida de una función a través de subfunciones y compartir los pesos incrementa la eficiencia de aprendizaje.

6.3.7 Sistemas de control. Son un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. (Castiñeira, (s.f.).).

Los sistemas de control permiten dirigir las acciones de dispositivos o hardware, tal como se amplía en la figura 7, estos sistemas pueden ser abiertos que hace referencia a aquellos que requieren de una acción inicial para ejecutar la funcionalidad, o cerrados que se ejecutan continuamente, basados en el desarrollo de una cadena de procesos.

Figura 7. Sistema de control de lazo abierto del proyecto



En relación con el proyecto este esquema de control representa la automatización del mismo, ya que el sensor toma un dato del ambiente, el equipo lo traduce y brinda una acción de clasificación como respuesta al estímulo, este control se realiza directamente desde matlab,

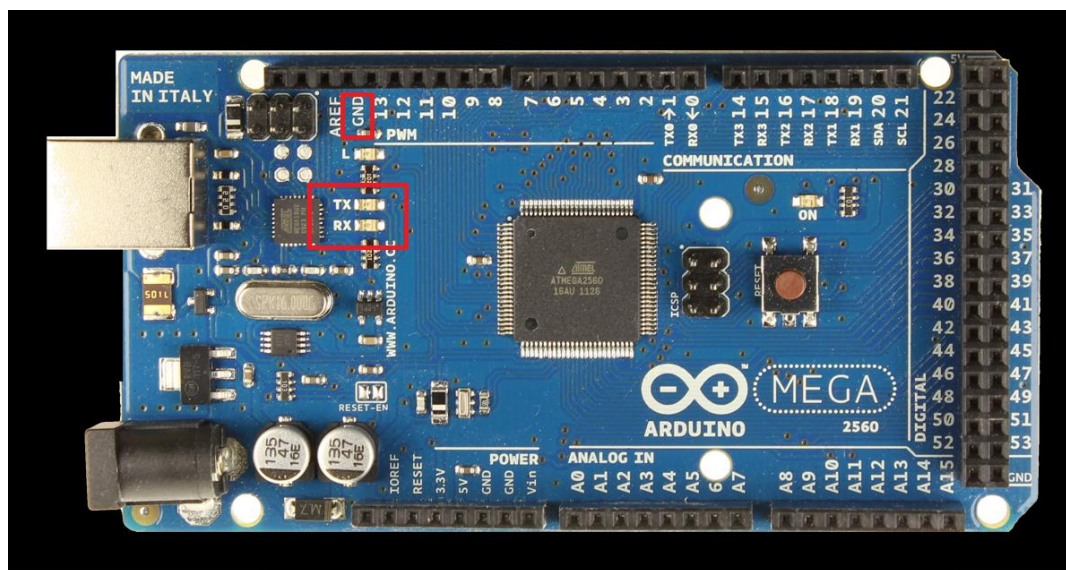
a través del procesador de arduino, lo que se considera puede ofrecer excelentes resultados en el desarrollo del proyecto.

6.3.8 Handshaking. También conocido como intercambio de pulsos de sincronización, es un método de comunicación usado por RS-232 requiere de una conexión muy simple, utilizando sólo tres líneas: Tx, Rx, y GND. *Para que los datos puedan ser transmitidos correctamente ambos extremos deben estar sincronizados a la misma velocidad.* (National Instruments, (s.f.).).

6.3.9 Comunicación serial arduino. Arduino mega 2560, es una placa robusta que permite hacer múltiples conexiones y facilita el control del hardware, cuenta con líneas de comunicación Tx, Rx, GND, indicados en la figura 8, resaltado en cuadro rojo.

Esta comunicación serial con un ordenador admite que mediante el comando `begin()`, se establezca la velocidad de datos en bits por segundo (baudios) para la transmisión de datos en serie, adicionalmente puede especificar otras tarifas para comunicarse a través de los pines 0 y 1 para un componente que requiera una velocidad particular.

Figura 8. Ubicación de líneas de comunicación serial.



Como se observa en la imagen, el arduino mega 2560 tiene varios puertos que pueden habilitarse para este tipo de comunicación serial.

6.3.10 Ultrasonido HC-SR04. es un sensor de distancias por ultrasonidos, que detecta objetos y calcula la distancia a la que se encuentra, este sensor maneja un rango de 2 a 450 cm, es muy popular por la precisión en medidas, facilita la conexión con arduino y es eficiente en la devolución de respuesta. Se puede observar en la figura 9.

Figura 9. Sensor de ultrasonido HC-SR04



6.3.11 Cámaras Industriales. *“las Cámaras Fisheye de Hikvision, equipadas con la función de mapeo de calor, no solo capturan una imagen de alta definición panorámica, sino también aprenden acerca de las condiciones de calor en diferentes regiones” [...]* (Corporación Colombia Digital, 2018)

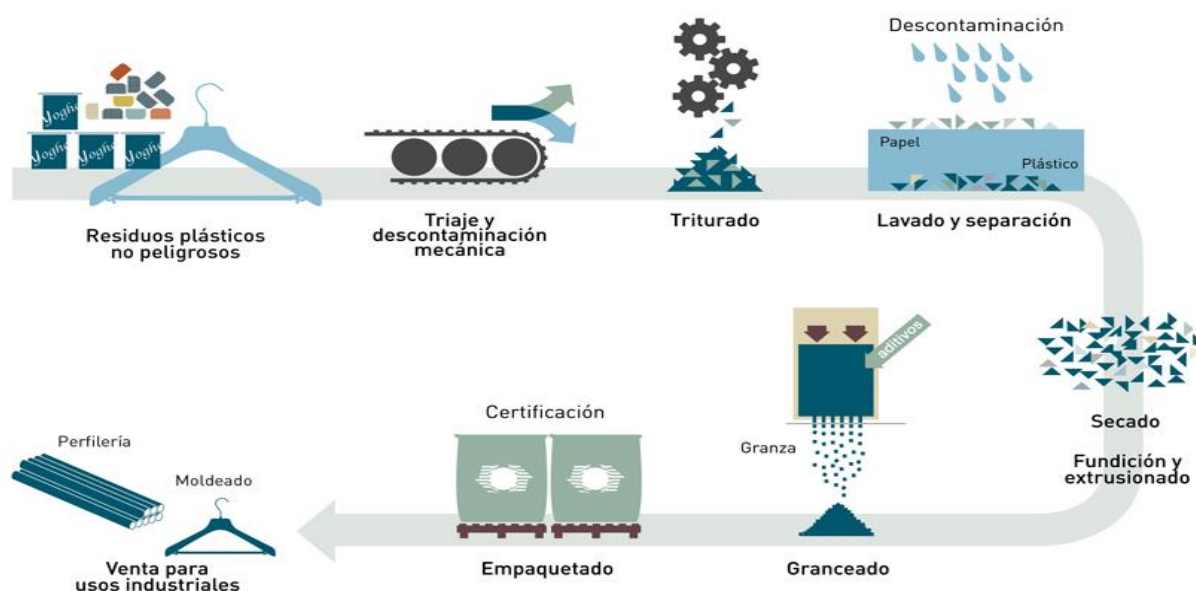
Este es un tipo de cámara integrada con *deep learning*, se puede implementar en casi cualquier campo, aunque principalmente es empleada en seguridad. Lo que hace de esta cámara una novedad, es el aumento de productividad que ofrece el uso de tecnología en los procesos industriales optimizando y ofreciendo un enfoque diferente, que representa una ventaja competitiva para las empresas.

Particularmente estas cámaras son empleadas fábricas, tiendas y almacenes, mejorando muchos de los procesos realizados por personas.

La función de mapeo de calor resulta potencialmente útil en el monitoreo del medio ambiente y puede permitir la identificación de materiales, según la reacción que estos muestren al estar expuestos a diferentes temperaturas.

6.3.12 Estandarización de residuos reciclables. La separación en la fuente es una actividad importante para el manejo de residuos aprovechables, por lo que es importante resaltar el proceso del reciclaje, el cual se comprende por las fases graficadas en la figura 10.

Figura 10. Sistema de proceso de reciclaje



El proyecto está enfocado al proceso de clasificación para brindar una alternativa sistematizada a la continuidad del proceso, *Esto garantiza la calidad y facilita su tratamiento, por lo que los contenedores empleados deben ser claramente diferenciables.* (INCONTEC, 2009). En la tabla 2, se sugiere un código de colores para facilitar la identificación de materiales residuales.

Tabla 2. Estandarización de colores para contenedores. (INCONTEC, 2009).

Sector	Tipo de residuo	Color
Doméstico	No aprovechables	Negro
	Orgánicos biodegradables	Verde
Industrial, comercial institucional y de servicios	Cartón y papel	Gris
	Plásticos	Azul
	Vidrio	Blanco
	Orgánicos	Crema
	Residuos Metálicos	Café oscuro
	Madera	Naranja
	Ordinarios	Verde

La estandarización empleada en el prototipo fue color blanco para vidrio, azul para plástico y negro para lata.

El aumento de la automatización en las plantas de selección de envases repercute positivamente en la efectividad de las mismas. En España el 56% de las 96 instalaciones dedicadas al reciclaje son automáticas. (Operativa Medioambiental, 2015), mientras países como Colombia no cuenta con estos sistemas para el cuidado ambiental y reducción de la contaminación.

CAPÍTULO 3.

7. METODOLOGÍA.

En este proyecto se empleará la metodología **Agile Kanban**, adaptada para el desarrollo de software, con el propósito de optimizar la secuencia de trabajo, en la cual se representa visualmente las tareas a desarrollar y su estado, esta es la más apropiada para el desarrollo de este proyecto, porque permite ajustar la cantidad de trabajo a la capacidad de ejecución, y así tener un enfoque claro del estado de cada una de las tareas. Las herramientas necesarias son un tablero y tarjetas para plasmar las tareas, que en este caso serán virtuales.

Como afirma Garzas, (2011), las principales reglas de Kanban son:

Visualizar el trabajo y las fases del ciclo de producción o flujo de trabajo. Esta regla indica que se debe hacer la proyección del desarrollo en su totalidad, dividiendo el proyecto en tareas y estableciendo los estados o fases de desarrollo en los que puede encontrarse cada una, en función del tiempo, para cumplir con objetivos que definen su finalización.

Determinar el límite de trabajo en curso. Se determinan las tareas padres, como análisis de requerimientos, recolección de información o diagramas, con el objetivo de no retrasar el desarrollo de otras que tengan dependencia, y se distribuye el tiempo, posicionando tareas que pueden desarrollarse paralelamente, sin que se vean afectadas por cualquier novedad, con esto se establece el máximo de tareas en cada fase, por ejemplo, no se pueden tener cuatro tareas en desarrollo.

Medir el tiempo en completar una tarea. Esta regla hace referencia a la medición de cada tarea desde que inicia hasta su finalización, con el fin de tener un control que permita ajustar los tiempos y optimizarlos. En el desarrollo del prototipo de sistema automatizado se medirá el tiempo de duración de los objetivos por cada una de las fases o estados hasta cumplirse.

Adaptación a la metodología

En la tabla 3, se muestra la metodología seleccionada, y su aplicación al proyecto.

Tabla 3. Metodología Agile Kanban.

Metodología Agile Kanban				
Tareas	Inicio	Desarrollo	Prueba	Hecho
Recolección de información	Revisión de la literatura, para establecer herramientas informáticas a emplear.	Diseño de un cuestionario, para determinar las especificaciones y requerimientos del prototipo.	Video de entrevista realizada a la Coordinadora del programa de gestión integral de residuos de la empresa de servicios públicos de Cajicá.	Finalizada
Identificación de requerimientos	Transcripción de entrevista, donde se identifican las especificaciones que necesitaría el prototipo	Requisitos funcionales y no funcionales	Diagrama de requisitos funcionales y no funcionales	Finalizada
Diseño de software	Estandarización de residuos a clasificar	Diagrama de casos de uso	Ficha de casos de uso	Finalizada
Diseño BD	Diagrama de clases	Incluyen métodos CRUD propuestos	Script de la base de datos en MySQL Workbench	Finalizada
Flujo de navegación	Determinar la navegabilidad	Diseño de interfaces	Diagrama de flujo general del sistema	Finalizada

Metodología Agile Kanban

Tareas	Inicio	Desarrollo	Prueba	Hecho
Diseño electrónico	Selección de componentes	Conexiones y ensamble del prototipo	Diagrama esquemático electrónico	Finalizada
Desarrollo	Selección de algoritmos	Programación y conexiones de hardware	Ejecución del aplicativo	Finalizada
Pruebas y ajustes	Pruebas de funcionalidad	Ajustes de hardware	Generar ejecutable del aplicativo	Finalizada
Construcción de manuales técnico y de usuario	Captura de video del funcionamiento del aplicativo	Desarrollo de manuales y videotutorial	Manuales y video	Finalizada
Entrega de proyecto finalizado	Revisión del director proyecto	Ajustes necesarios	Radicación	
Sustentación				

8. DESARROLLO DEL PROYECTO.

8.1 Desarrollo de la Metodología.

De acuerdo con la metodología seleccionada se desarrollan las actividades propuestas por tareas y se exponen los resultados obtenidos.

8.1.1 Recolección de información. En esta fase se diseñó un cuestionario que fue practicado con el objetivo de establecer los requerimientos del aplicativo.

La entrevista fue realizada a la señora Deira Suarez, coordinadora del plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) de la empresa de servicios públicos del municipio de Cajicá, Cundinamarca.

Como resultado de esta entrevista se definieron algunos aspectos básicos para el diseño del prototipo. Entre los aportes más relevantes se encuentra los relacionados con los siguientes ítems.

- **Pregunta:** ¿Cuál es el promedio de residuos mensuales que recoge la empresa de servicios públicos de Cajicá (E.P.C.)?

Respuesta: *La empresa de servicios públicos del municipio de Cajicá Cundinamarca, recoge dos tipos de residuos. Residuos orgánicos (400 toneladas mensuales aproximadamente) y residuos inservibles (1350 toneladas mensuales aproximadamente).*

Conclusión: el prototipo que se desarrollará no realiza la clasificación de una cantidad tan elevada de residuos, por lo tanto, se define como un modelo a escala que busca la clasificación de residuos en plástico, vidrio y lata. Este prototipo tendrá un diseño reducido para observar su viabilidad.

- **Pregunta:** ¿Existe algún método de preselección de las basuras al recoger los residuos en la fuente?

Respuesta: *Existe un programa denominado caneca verde el cual lleva diez años de implementado, este es únicamente para residuos orgánicos. En el momento se está implementando un programa conocido como ruta de aprovechables, en el cual se reciben toda clase de residuos reciclables y se traslada a las instalaciones de las asociaciones de recicladores.*

Conclusión: con la implementación del programa *ruta de aprovechables*, resulta conveniente desarrollar un prototipo de herramienta tecnológica que realice la clasificación de los residuos en grupos por tipo de material, ya que se identifica que esta recolección no ofrece ninguna preclasificación, lo cual brindaría un apoyo para las asociaciones de recicladores.

Así mismo se evidencia el uso de colores para estandarizar el tipo de residuos, lo cual se adapta para el prototipo a desarrollar, estandarizando el color blanco para vidrio, azul para plástico y negro para empaques de lata.

- **Pregunta:** **¿Qué especificaciones concretas debería tener la tecnología que desarrolle la clasificación de residuos?**

Respuesta: *Se requiere una clasificación según las especificaciones propias de cada material, por ejemplo, el polietileno tereftalato (PET), se debe clasificar incluso por el origen del producto que contenía. Esta clasificación puede ser por material y estandarización de color.*

Conclusión: Ante esta información se opta por diseñar un prototipo que realice una clasificación por material con características generales en tres grupos plástico, vidrio y lata. La clasificación particular por ejemplo del plástico donde se incluye PET, será una función desarrollada manualmente.

El prototipo disminuye la tarea del reciclador, al entregarle preclasificado en tres grupos los residuos reciclables.

En complemento a lo expuesto, la coordinadora de PGIRS comentó acerca de las expectativas de un desarrollo tecnológico para automatizar este proceso debido a que en el momento no cuentan con ningún mecanismo, aplicativo o tecnología que apoye el desarrollo de esta labor. Así mismo planteó la revisión del decreto 596 de 2016, el cual indica:

“Que media sentencias T-724 de 2003 Y T-291 de 2009, la corte constitucional se ha pronunciado sobre los recicladores de oficio como sujetos de especial protección constitucional y sobre la necesidad de promover acciones afirmativas a su favor.” (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, 2016)

Con lo cual se hace necesaria la intervención del reciclador en el proceso y se busca el desarrollo de herramientas que faciliten su actividad, en este prototipo se emplean algoritmos de *Deep Learning*, para realizar una preclasificación según el tipo de material reciclable.

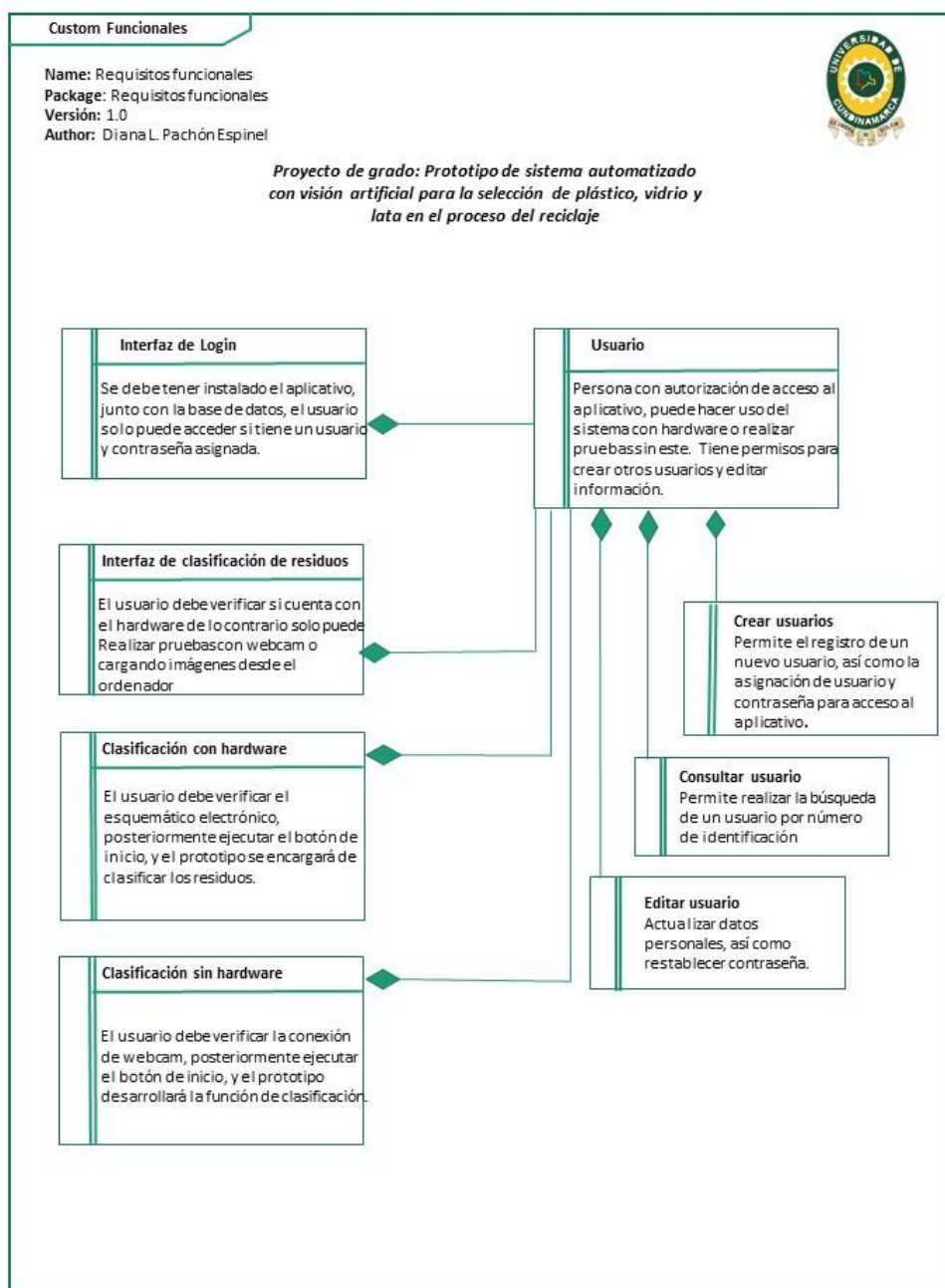
Está y más información obtenida en la entrevista se adjunta como anexo A comprimido en un video.

8.1.2 Identificación de requerimientos. Una vez analizada la entrevista, se identifican las especificaciones del prototipo, obteniendo diagrama de requisitos funcionales y modelo de casos de uso.

8.1.2.1 Requisitos funcionales. Las funcionalidades del prototipo se muestran en la figura 11, a través del diagrama de requisitos que se explica a continuación.

- Login con usuario y contraseña
- Registrar, buscar y editar nuevos usuarios
- Clasificar residuos con hardware, brindando información de estandarización del residuo, así como estructura de conexiones de hardware. Notifica errores de conexión de hardware y cámara web.
- Clasificar residuos con webcam brindando información de la estandarización del residuo clasificado, grafica 3D e histograma de análisis de luminosidad.
- Clasificar residuos con imágenes desde el equipo brindando información de la estandarización del residuo clasificado, grafica 3D e histograma de análisis de luminosidad.
- Vista de ayuda para la conexión de hardware, muestra la estructura de conexiones realizadas con el hardware para el correcto funcionamiento del prototipo.

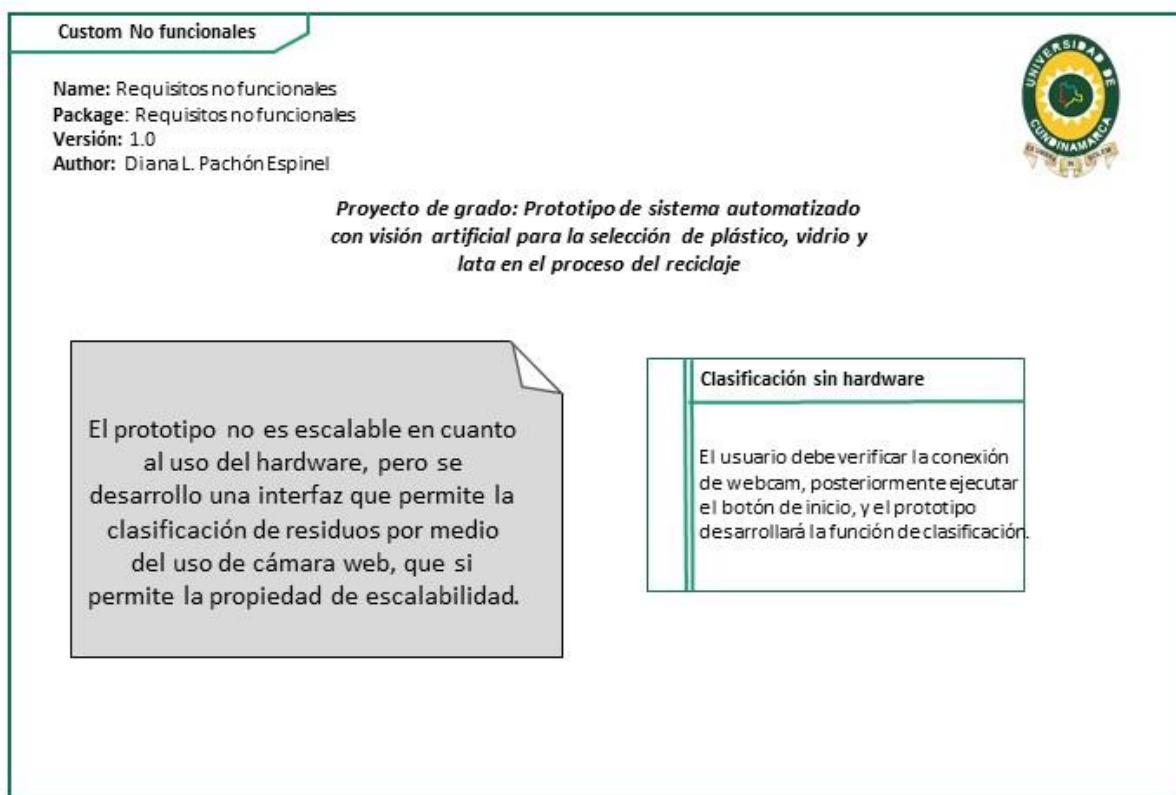
Figura 11. Diagrama de requisitos funcionales.



8.1.2.2 Requisitos no funcionales. En el desarrollo del proyecto se identificaron requerimientos no funcionales que representan características generales y restricciones del aplicativo o el prototipo los cuales son escalabilidad y eficiencia, ya que requieren de un ambiente controlado.

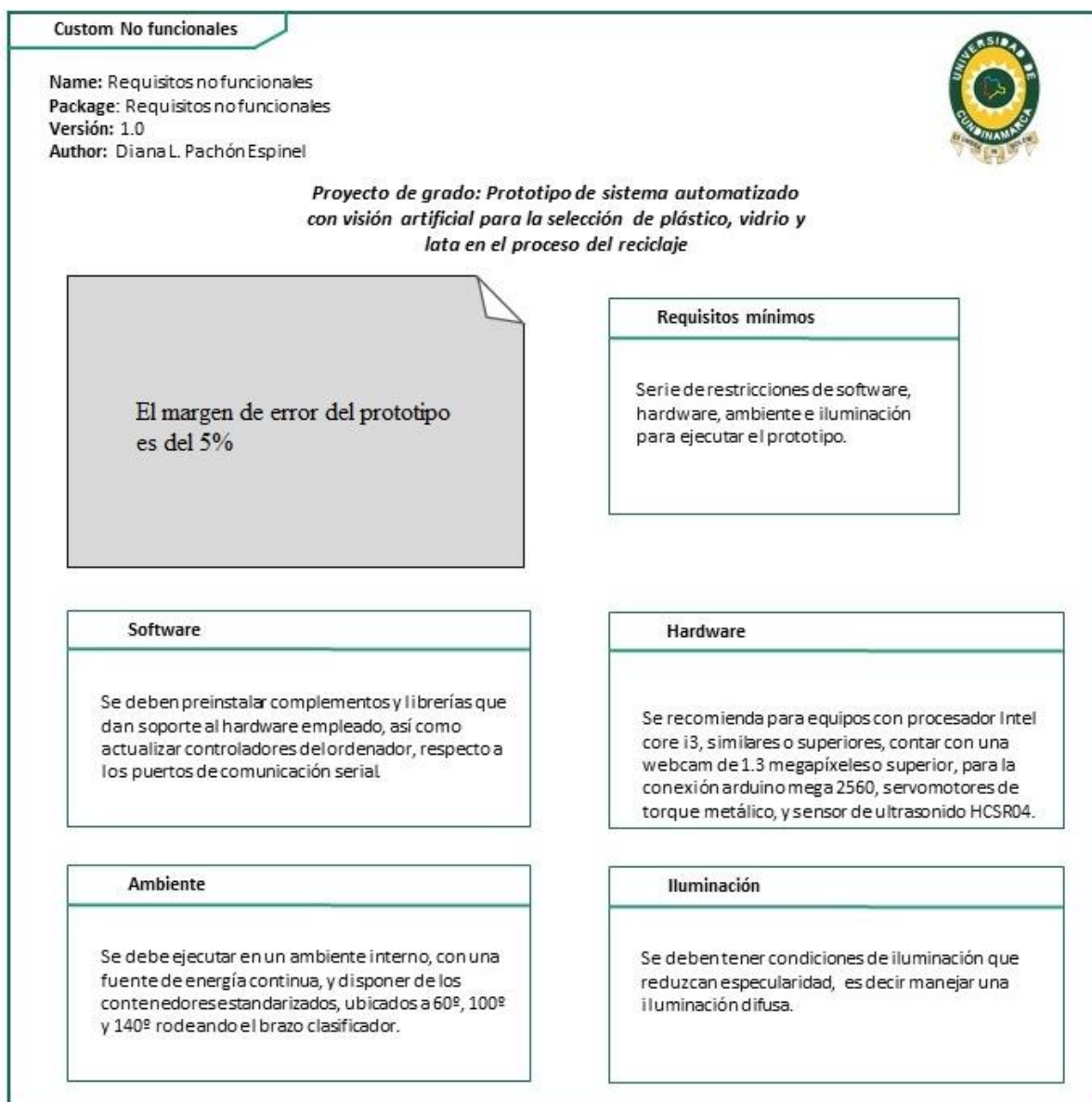
a) Escalabilidad. Como propiedad de incrementar la capacidad de trabajo o de tamaño de un sistema, no se puede aplicar porque compromete el funcionamiento y calidad del prototipo, específicamente el hardware, ya que los componentes empleados no soportan sobrecarga, ni están equipados para aumentar la capacidad, es decir es un modelo a escala. La explicación general se observa en la figura 12.

Figura 12. Diagrama de requisitos no funcionales: escalabilidad.



b) Eficiencia. Como propiedad del sistema para ser capaz de procesar N transacciones por segundo, el aplicativo tiene un 5% de margen de error en la clasificación de los residuos especificados, aunque también pueden verse afectados los resultados por el ambiente en el que se desarrolle, razón por la cual se incluyó en los manuales una serie de requisitos mínimos para operar el prototipo, ampliado en la figura 13.

Figura 13. Diagrama requisitos no funcionales: eficiencia.



8.1.3 Diseño de software. Para llevar a cabo esta etapa se inicia con la estandarización de los residuos que se van a clasificar y se realiza el modelo de casos de uso, para finalizar con la ficha de casos de uso.

8.1.3.1 Estandarización de residuos a clasificar. Los residuos que se van a clasificar son plástico, vidrio y lata, la parametrización se realiza asignando colores a cada tipo de residuo, para que una vez el aplicativo, realice la clasificación, se dé la disposición del residuo en contenedores de los colores respectivos, los cuales se muestran en la figura 14.

Figura 14. Estandarización de residuos por colores.



8.1.3.2 Diagrama de casos de uso. Un caso de uso es una secuencia de transacciones que son desarrolladas por un sistema en respuesta a un evento que inicia un actor sobre el propio sistema. (Sistemas.com, (s.f.).).

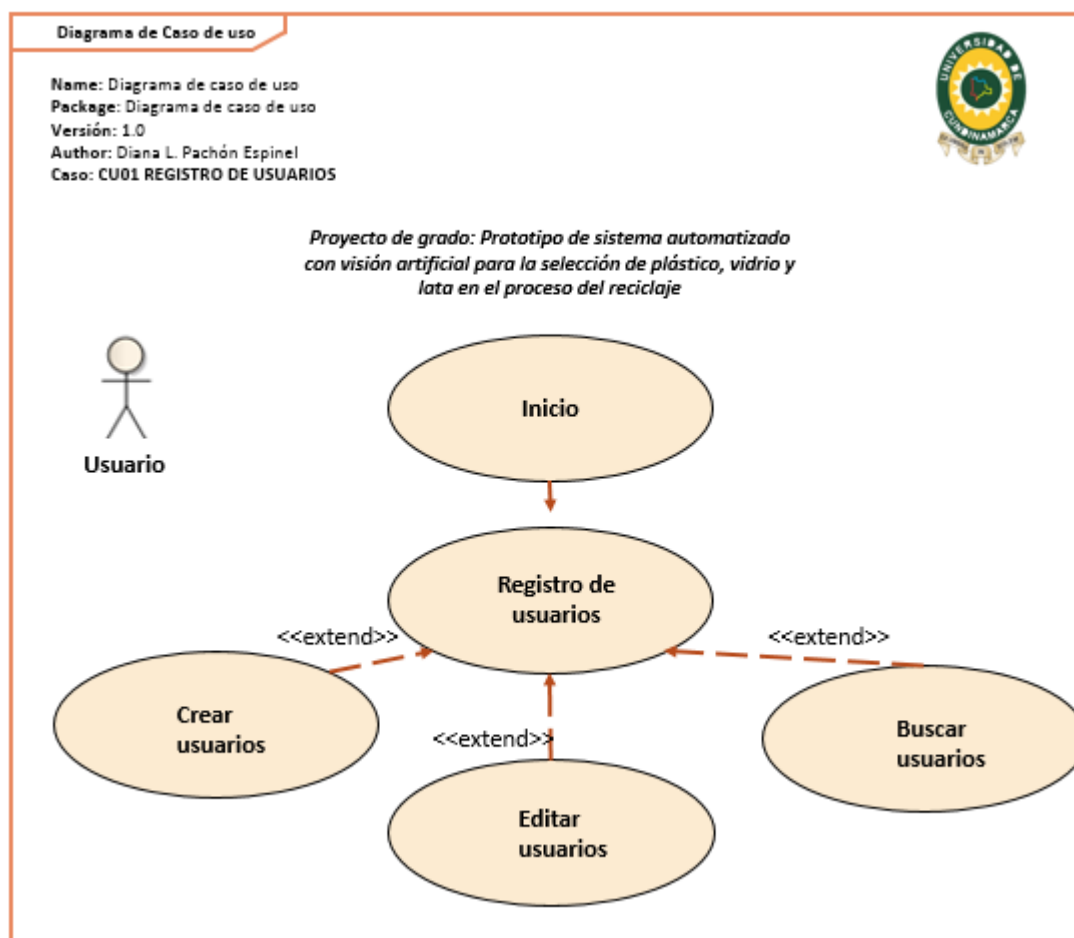
Para iniciar el proceso se definen los actores mediante la descripción del perfil, en este caso los actores son los usuarios, descrito en la figura 15.

Figura 15. Perfiles de actores.

Perfiles			
Name: Perfiles Package: Perfiles Versión: 1.0 Author: Diana L. Pachón Espinel	Proyecto de grado: Prototipo de sistema automatizado con visión artificial para la selección de plástico, vidrio y lata en el proceso del reciclaje		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Perfil de usuario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> Persona con permisos para acceder al aplicativo, que puede realizar las siguientes funciones: 1. Acceder con usuario y contraseña 2. Ingresar al modulo de registro y crear, consultar y editar un usuario nuevo 3. Ingresar al modulo de información para documentarse de los términos y condiciones de uso. 4. Ingresar al modulo de clasificación e iniciar el proceso de clasificación. </td> </tr> </tbody> </table>		Perfil de usuario	Persona con permisos para acceder al aplicativo, que puede realizar las siguientes funciones: 1. Acceder con usuario y contraseña 2. Ingresar al modulo de registro y crear, consultar y editar un usuario nuevo 3. Ingresar al modulo de información para documentarse de los términos y condiciones de uso. 4. Ingresar al modulo de clasificación e iniciar el proceso de clasificación.
Perfil de usuario			
Persona con permisos para acceder al aplicativo, que puede realizar las siguientes funciones: 1. Acceder con usuario y contraseña 2. Ingresar al modulo de registro y crear, consultar y editar un usuario nuevo 3. Ingresar al modulo de información para documentarse de los términos y condiciones de uso. 4. Ingresar al modulo de clasificación e iniciar el proceso de clasificación.			

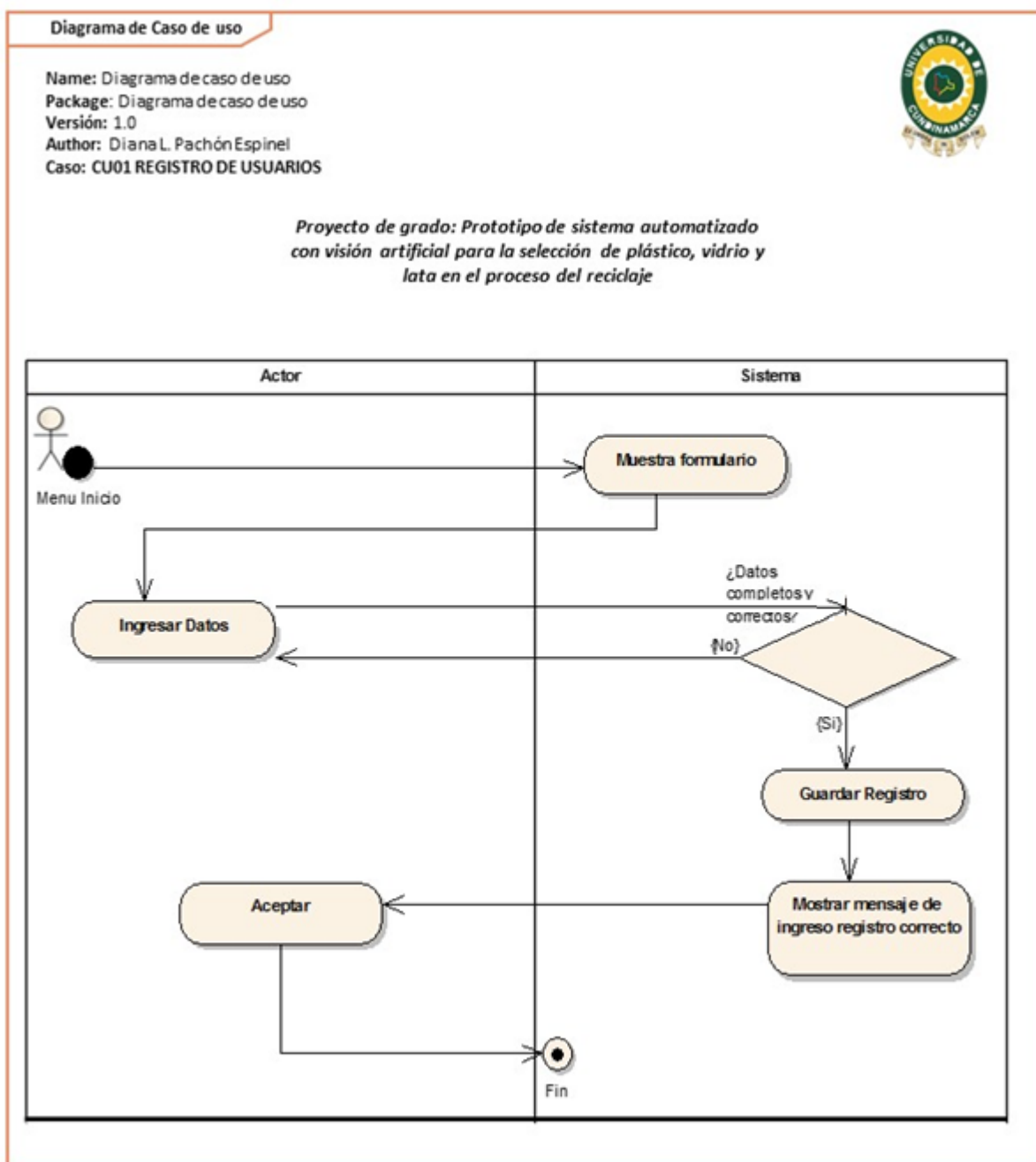
Los casos de uso para este prototipo son cuatro, los cuales están identificados por las iniciales CU, seguido del número de caso. A continuación, se muestra un diagrama de los que están directamente relacionados con la base de datos, en el numeral 8.1.3.2, sección D, se detalla el caso de uso para el funcionamiento de clasificación, que no tiene relación directa con la base de datos. En la figura 16 se muestran los casos de uso relacionados con el registro de información de usuarios.

Figura 16. Casos de uso relacionados con el registro de información de usuarios.



- a. **CU01: Registrar usuarios.** El actor tiene que estar registrado en el sistema para agregar un registro, en este caso el de creación de usuario, en la figura 15 se observa el flujo del caso.

Figura 17. CU01 flujo para registro de usuarios.



En la figura 18, se detalla el caso de uso extendido, donde se destaca la información necesaria para el desarrollo del caso, seguido de la respectiva ficha de proceso.

Figura 18. CU01 diagrama extendido para registro de usuarios.

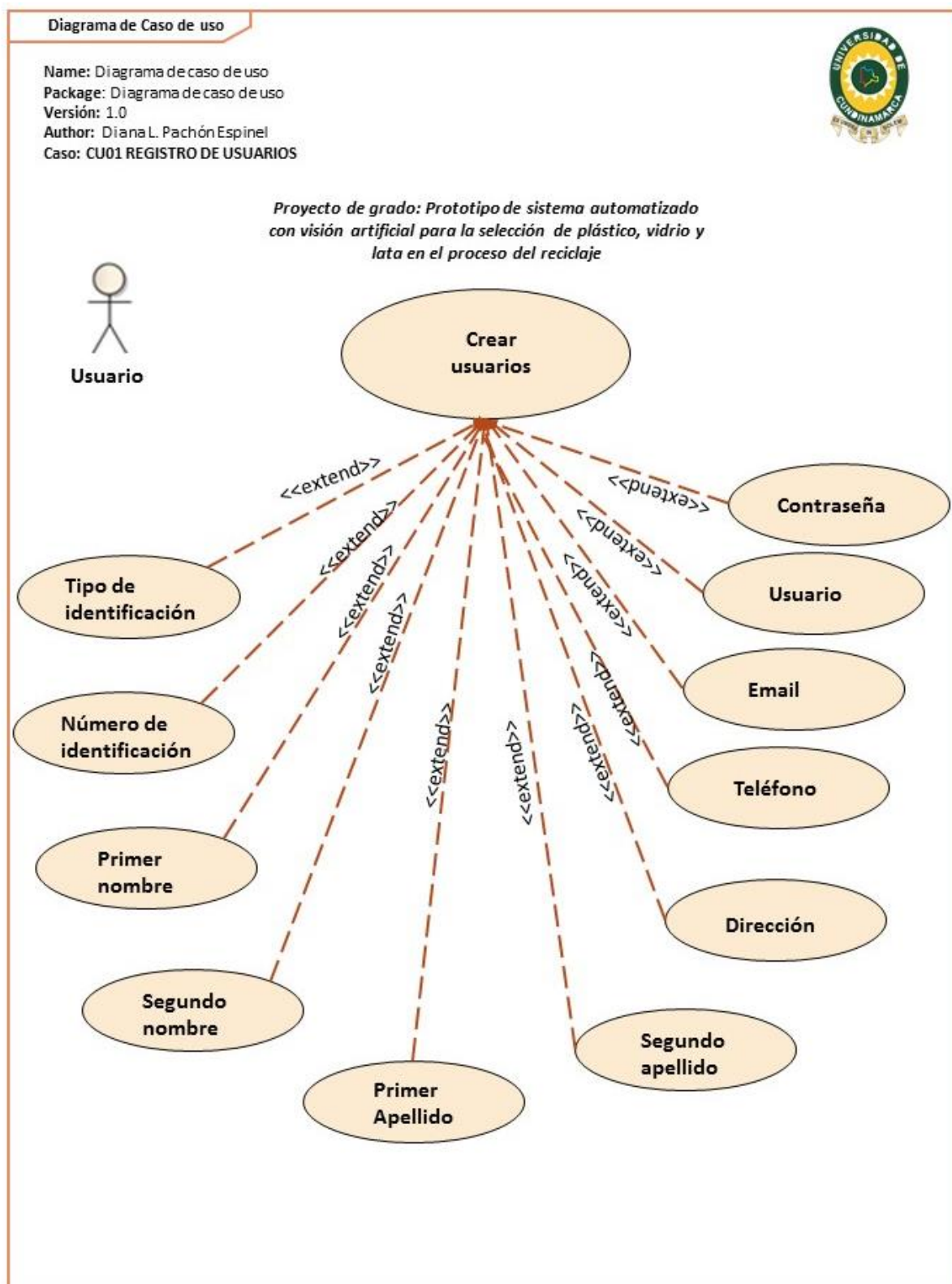


Tabla 4. Ficha CU01 Registro de usuarios

Caso de uso:	CU01-Registro de usuarios
Actor	Usuario

Describe el proceso para crear un usuario nuevo.

<i>Descripción de los procesos</i>	<i>Alternativas</i>
Entradas	Datos de usuario
Salidas	Mensaje de registro exitoso
Precondiciones	El actor debe estar registrado en el sistema
Postcondiciones	Se ha creado un nuevo usuario con permisos de acceso al aplicativo

Comentarios

La contraseña por primera vez, será asignada por el actor quien realiza el registro, una vez ingrese el nuevo usuario, puede editarla.

- b. CU02: Editar usuarios.** A veces, puede que se desee realizar cambios en un registro existente, o se hace necesario actualizar datos, por ejemplo, para cambiar una dirección. Para editar un registro existente, una de las restricciones es que el actor debe tener asignado un usuario y contraseña, así mismo el usuario a quien se editaran los datos debe haber sido creado con anterioridad.

Se debe tener en cuenta los tipos de datos a ingresar, aunque si no lo hiciera el sistema le enviará un mensaje recordando el tipo de dato admitido en cada caso, para que sea ajustado, de lo contrario no permitirá actualizar la información.

En este caso solo se pueden editar los datos de contacto y contraseña, como se amplía en la figura 19, del diagrama extendido.

Figura 19. CU02 diagrama extendido para edición de usuarios.

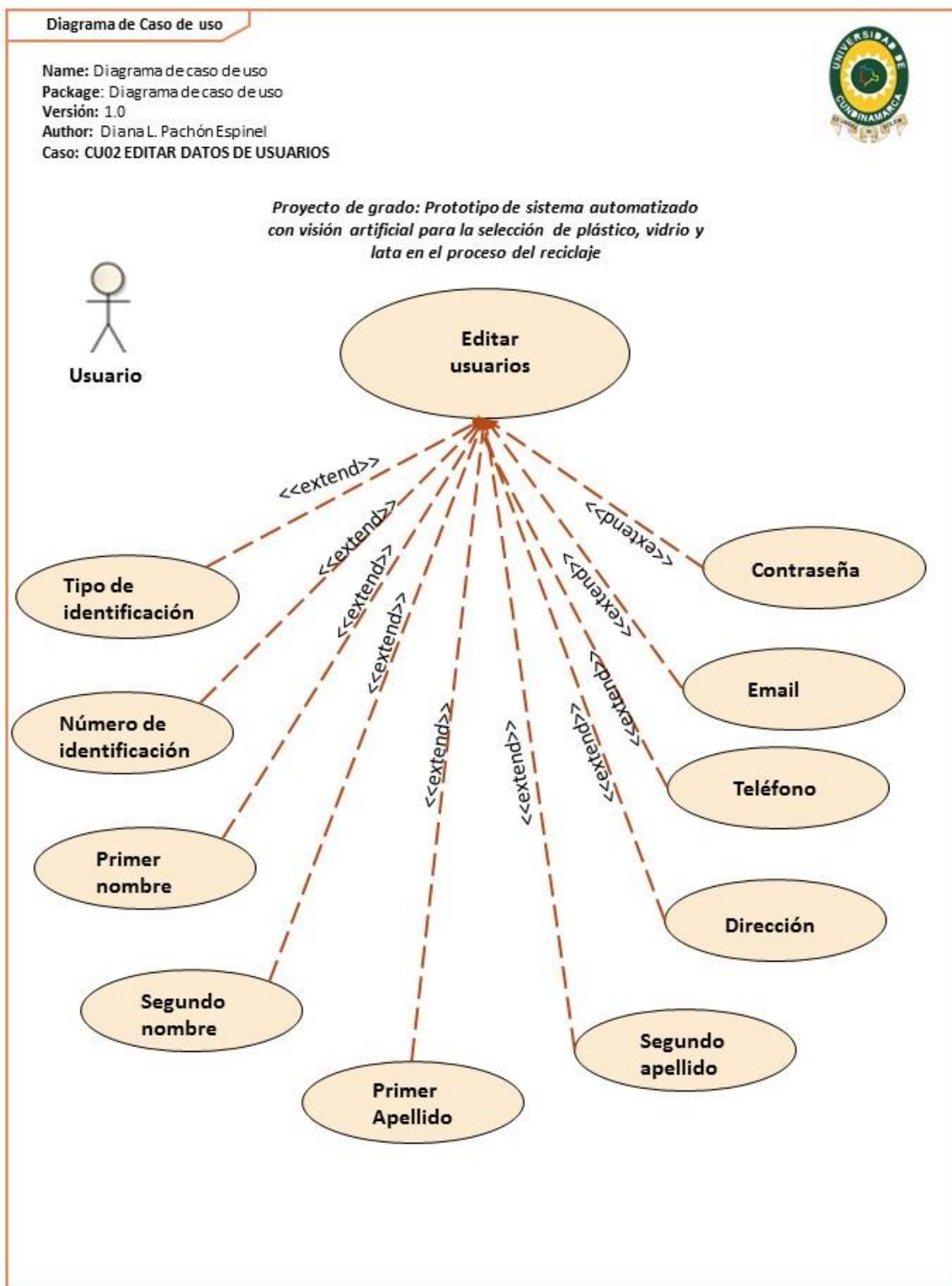


Tabla 5. Ficha CU02 Editar datos de usuario

Caso de uso:	CU02-Editar datos de usuario
Actor	Usuario

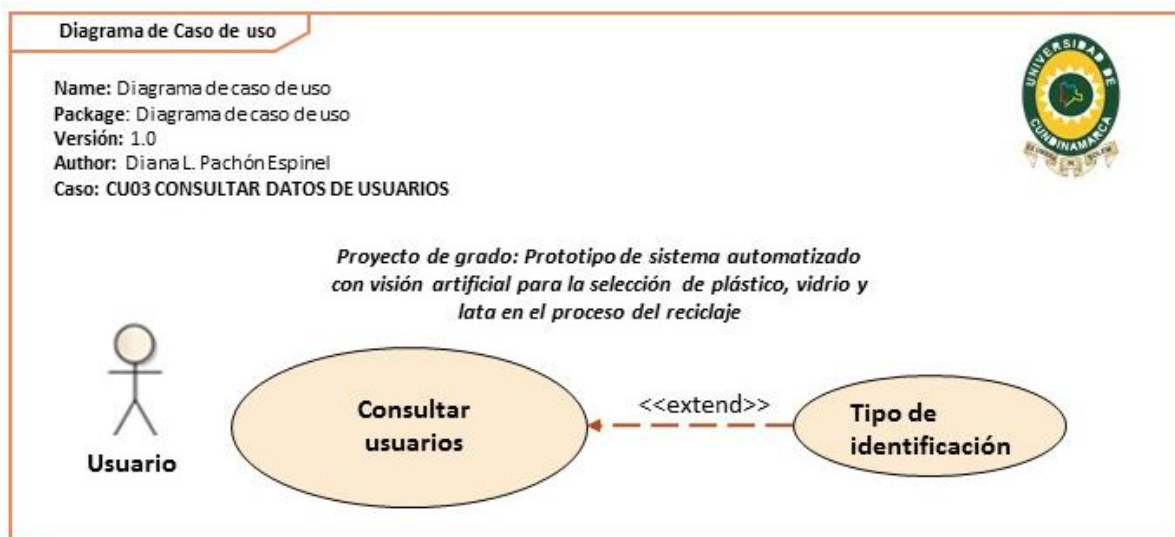
Describe el proceso para editar los datos de un usuario previamente creado

<i>Descripción de los procesos</i>	<i>Alternativas</i>
Entradas	Datos de usuario
Salidas	Mensaje de actualización exitosa
Precondiciones	El actor debe estar registrado en el sistema, al igual que el usuario al que se realizará la actualización de información
Postcondiciones	Validación de la nueva información en relación con el tipo de dato admitido

Comentarios

La actualización de información es una fase constante en los procesos, se debe tener en cuenta los nuevos datos y verificar que hayan quedado guardados.

c. CU02: Consultar usuarios. Este proceso es importante ya que brinda la posibilidad de editar un registro, en una tabla con gran cantidad de registros resulta importante tener un filtro para facilitar la búsqueda, en este caso se realiza una consulta por número de identificación, lo que reduce la posibilidad de errores, además se muestran los resultados en campos similares a los de ingreso de usuario, para facilitar la edición del mismo, en el caso de no encontrar el número de identificación en los registros, el sistema le informara mediante un mensaje, que el usuario no se encuentra en la base de información. A continuación, se muestra la figura 20 del diagrama extendido correspondiente a este caso.

Figura 20. CU03 Diagrama extendido de consulta de usuarios.**Tabla 6.** Ficha CU03 Consulta de usuario

Caso de uso:	CU03-Consulta de usuario
Actor	Usuario

Describe el proceso para buscar usuarios por número de identificación.

<i>Descripción de los procesos</i>	<i>Alternativas</i>
Entradas	Número de identificación
Salidas	Datos de usuario o mensaje de inexistencia de registro
Precondiciones	El actor debe estar registrado en el sistema, al igual que el usuario que se desea consultar
Postcondiciones	Existencia de la información en la base de datos

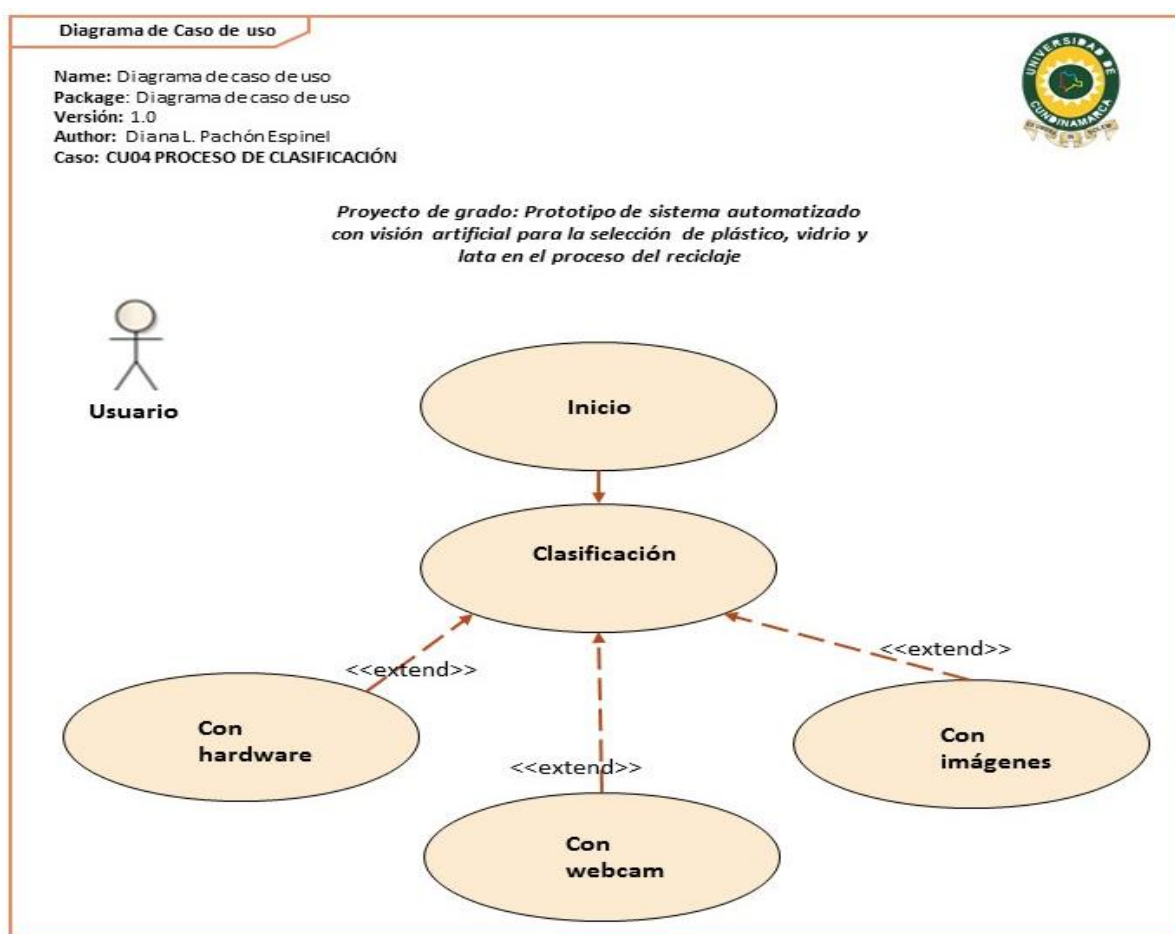
Comentarios

La actualización de información es una fase constante en los procesos, se debe tener en cuenta los nuevos datos y verificar que hayan quedado guardados.

d. **CU04: Clasificar residuos.** Aunque esta fase no corresponde a la gestión de bases de datos, es relevante indicar el procedimiento para clasificar los residuos, mediante un caso de uso del aplicativo dirigido particularmente al aplicativo.

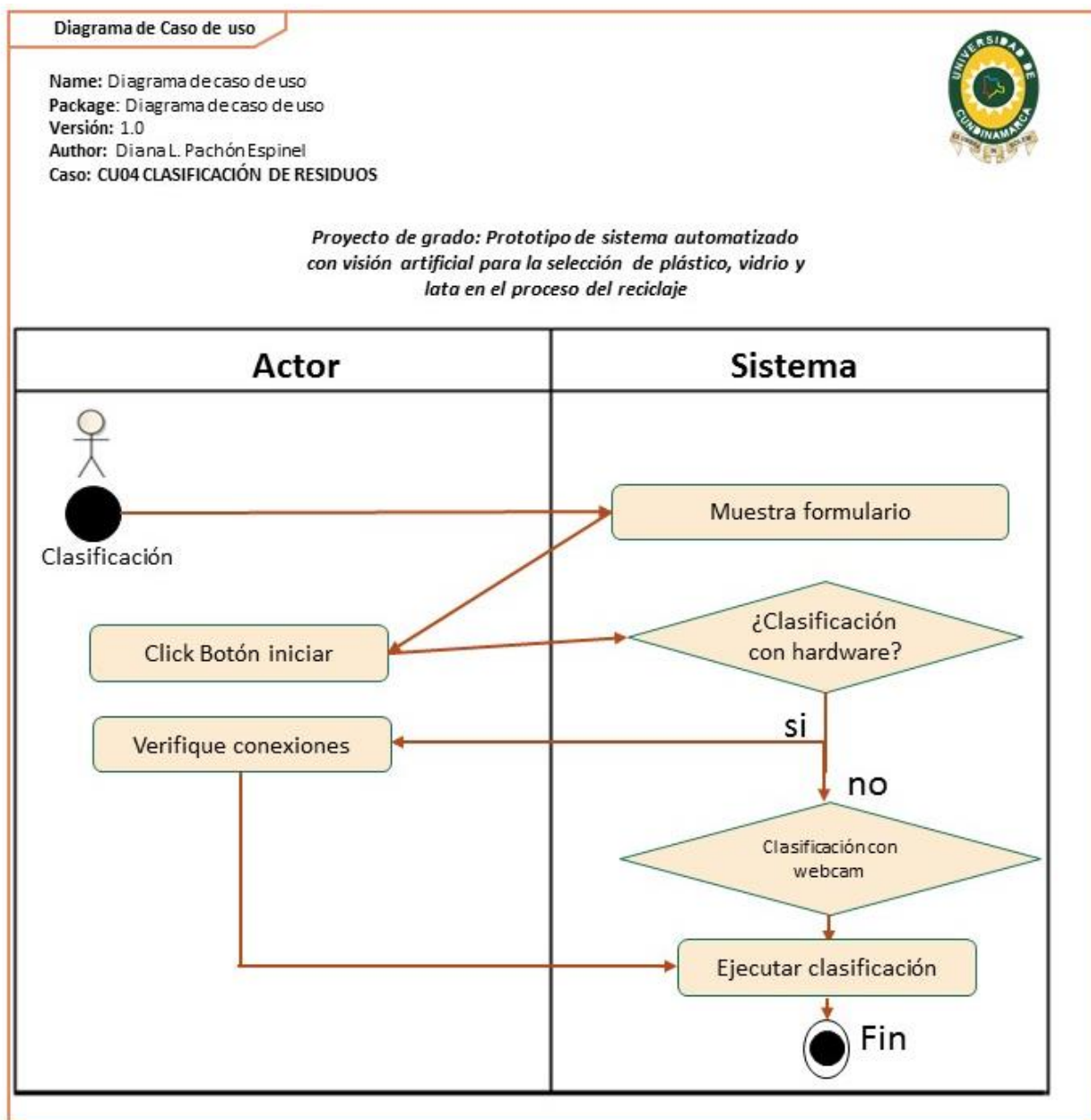
Para esta función se requiere de una acción del actor para iniciar el proceso, posteriormente se brindan varias opciones para desarrollar la función, como lo son trabajo con hardware, con webcam, y con imágenes desde el equipo. Desarrollado según la figura 21.

Figura 21. Caso de uso: CU04 Clasificación de residuos.



En la figura 22, se puede identificar el flujo de este caso de uso, así como las intervenciones del actor, para completar la actividad de clasificación.

Figura 22. CU04 Flujo para clasificación de residuos.



De esta manera se entiende la recepción de acciones por parte del actor, que se transforman en funciones desarrolladas por el prototipo, tanto en software como en hardware.

Tabla 7. Ficha CU04 Clasificar residuos

Caso de uso:	CU04-Clasificar residuos
Actor	Usuario

Describe el proceso para iniciar el proceso de clasificación de residuos

<i>Descripción de los procesos</i>	<i>Alternativas</i>
Entradas	Accionar botón de inicio
Salidas	Clasificación de residuo, mostrando la etiqueta del grupo al cual pertenece, así como el icono de estandarización del residuo.
Precondiciones	-Verificar conexiones si realizará clasificación con hardware. -Contar con webcam mínimo 1.3 megapíxeles -Tener imágenes a clasificar guardadas en el ordenador de 228x228x3 pixeles.
Postcondiciones	Actualizar drivers de puerto serial, y contar con complementos de GPU, si tiene un procesador con poca capacidad.

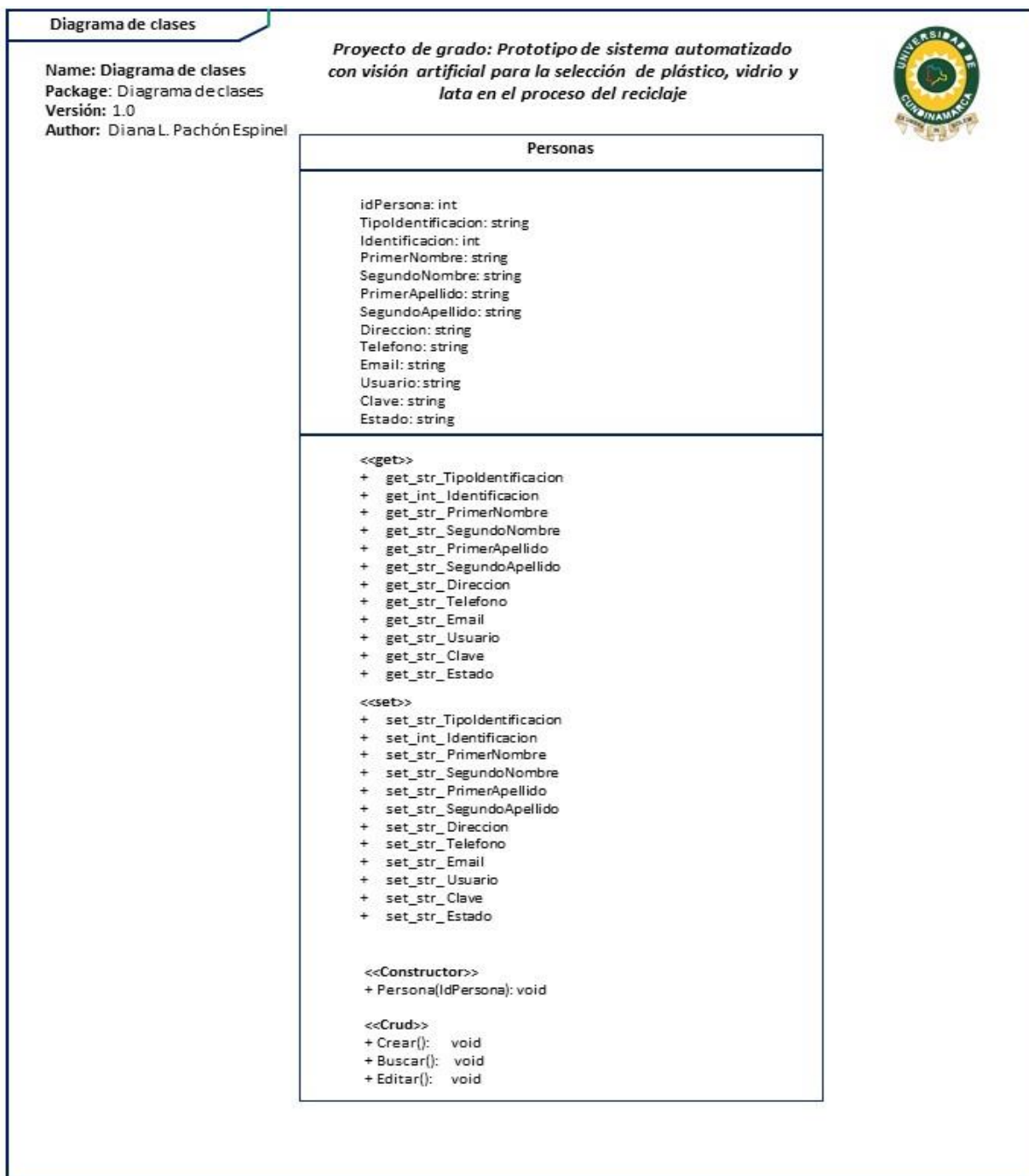
Comentarios

La clasificación de residuos se puede verificar cargando imágenes desde el ordenador, si no se cuenta con hardware.

8.1.4 Diseño de base de datos. Como resultado de esta etapa se obtiene el diagrama de clases incluyendo los métodos CRUD.

El diagrama de clases está basado en los requerimientos del aplicativo y el modelo físico de la base de datos, para lo cual se elaboró la tabla de personas. En la siguiente figura 23 se amplía la estructura de la clase.

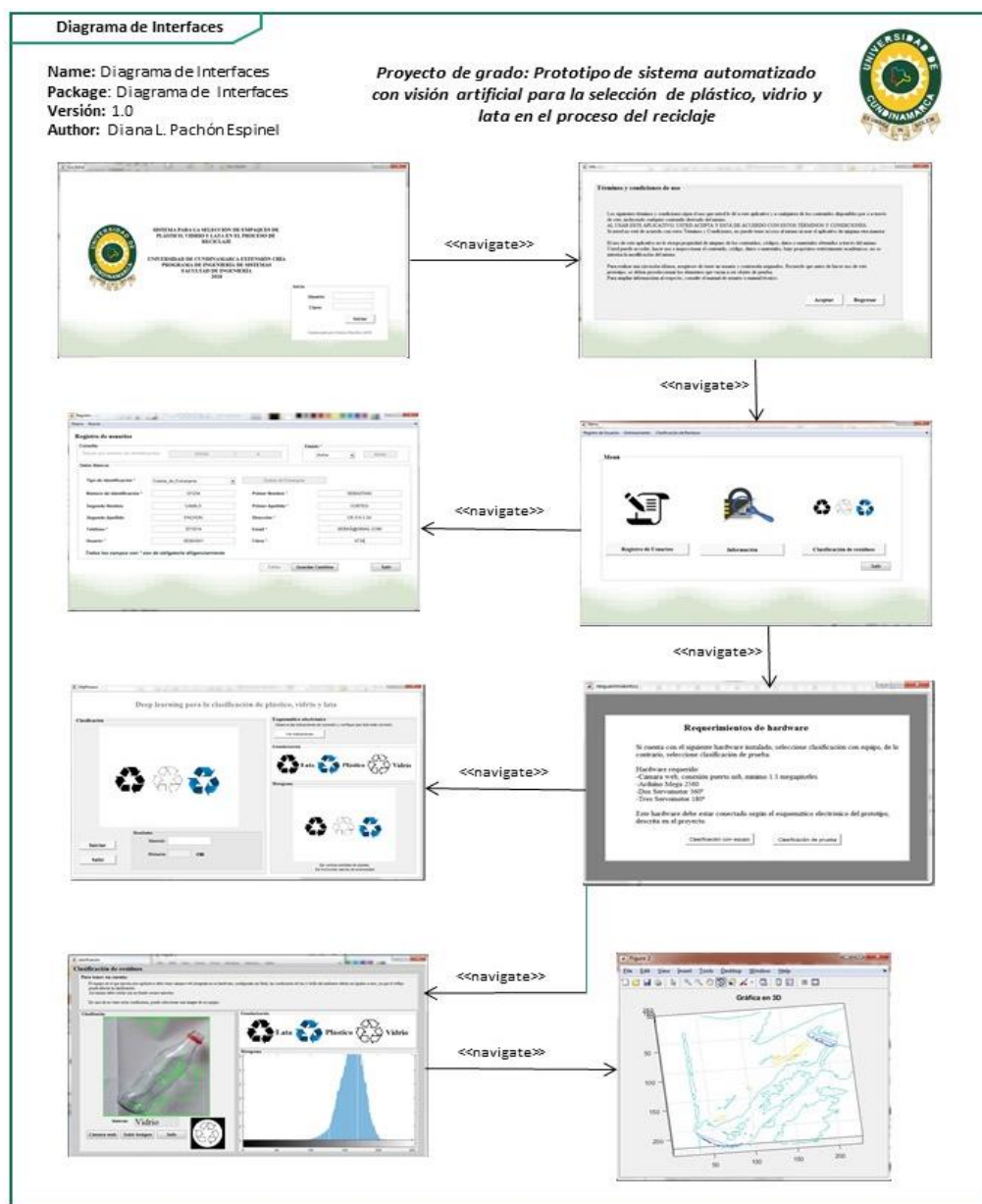
Figura 23. Diagrama de clase



8.1.5 Flujo de navegación. Es de gran importancia facilitar el uso del aplicativo para mejorar la experiencia del usuario, por lo tanto, se desarrolla un flujo de navegación.

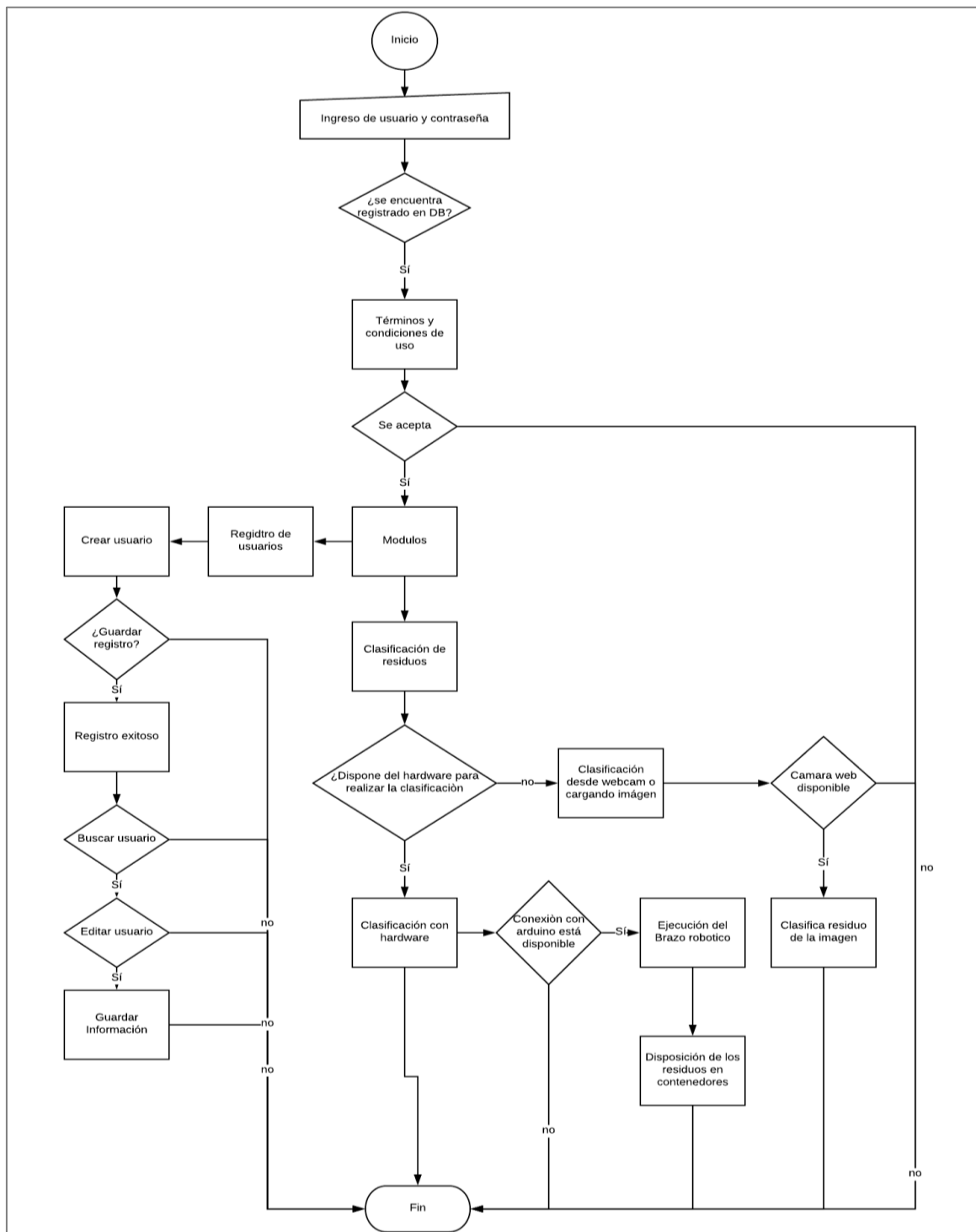
8.1.5.1 Diseño de Interfaces. Este diagrama contiene una pantalla inicial de Login, una interfaz de módulos, donde el usuario podrá seleccionar la actividad que desea desarrollar, bien registrar usuarios o iniciar el proceso de clasificación de residuos, que se detalla en la figura 24.

Figura 24. Diagrama de Interfaces



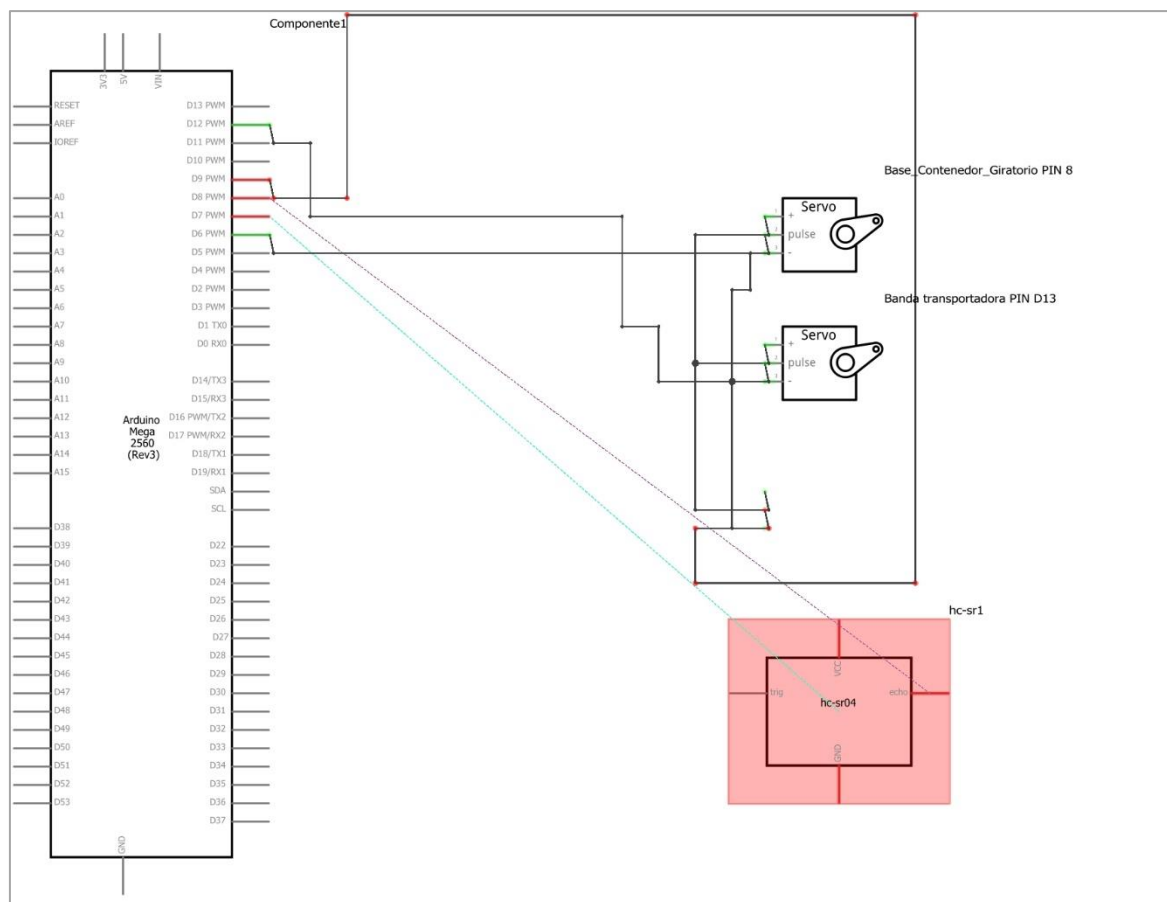
8.1.5.2 Diagrama de flujo general del sistema. En la figura 25, se muestra el diagrama de flujo general que representa gráficamente la ejecución del prototipo.

Figura 25. Diagrama de flujo general.



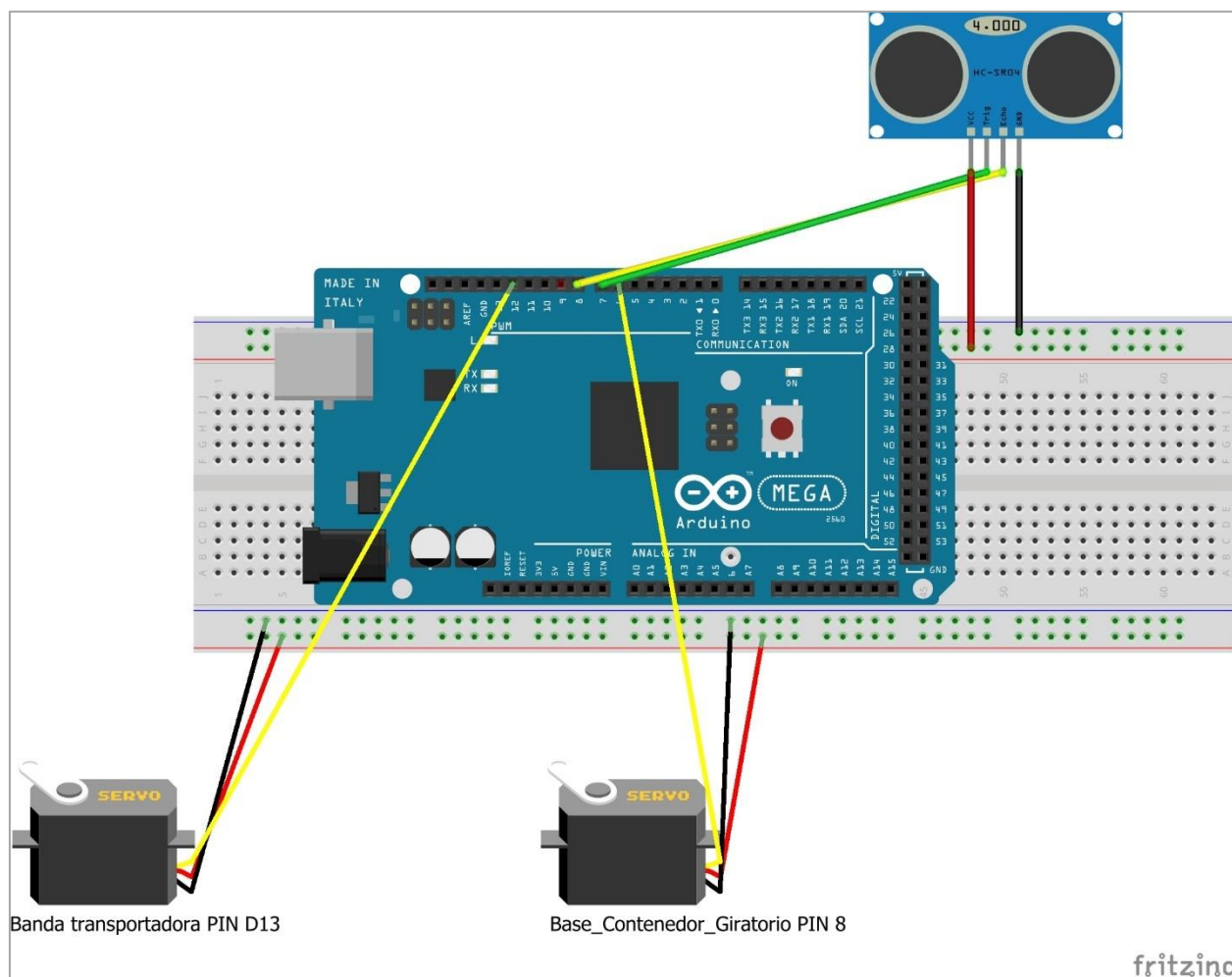
8.1.6 Diagrama electrónico. En esta representación del circuito se muestran las conexiones entre los diferentes componentes de manera sencilla y clara, para facilitar su reproducción. La disposición de los componentes e interconexiones en el esquema, no corresponden a sus ubicaciones físicas en el dispositivo terminado.

Figura 26. Diagrama electrónico. Se empleó el arduino mega 2560, se debe tener en cuenta que los servomotores cuentan con tres extensiones, las cuales deben corresponder a GND (tierra), VCC (energía), Datos.



A continuación, se muestra el diagrama de conexión del hardware empleado, para realizar la disposición en el respectivo contenedor según la clasificación del residuo.

Figura 27. Diagrama de conexiones. Para la conexión se debe tener en cuenta que el servomotor funciona de 5V a 7.2V., para la conexión completa deben incluirse dos de estos, por lo cual es recomendable una batería de 5V. a 3A.



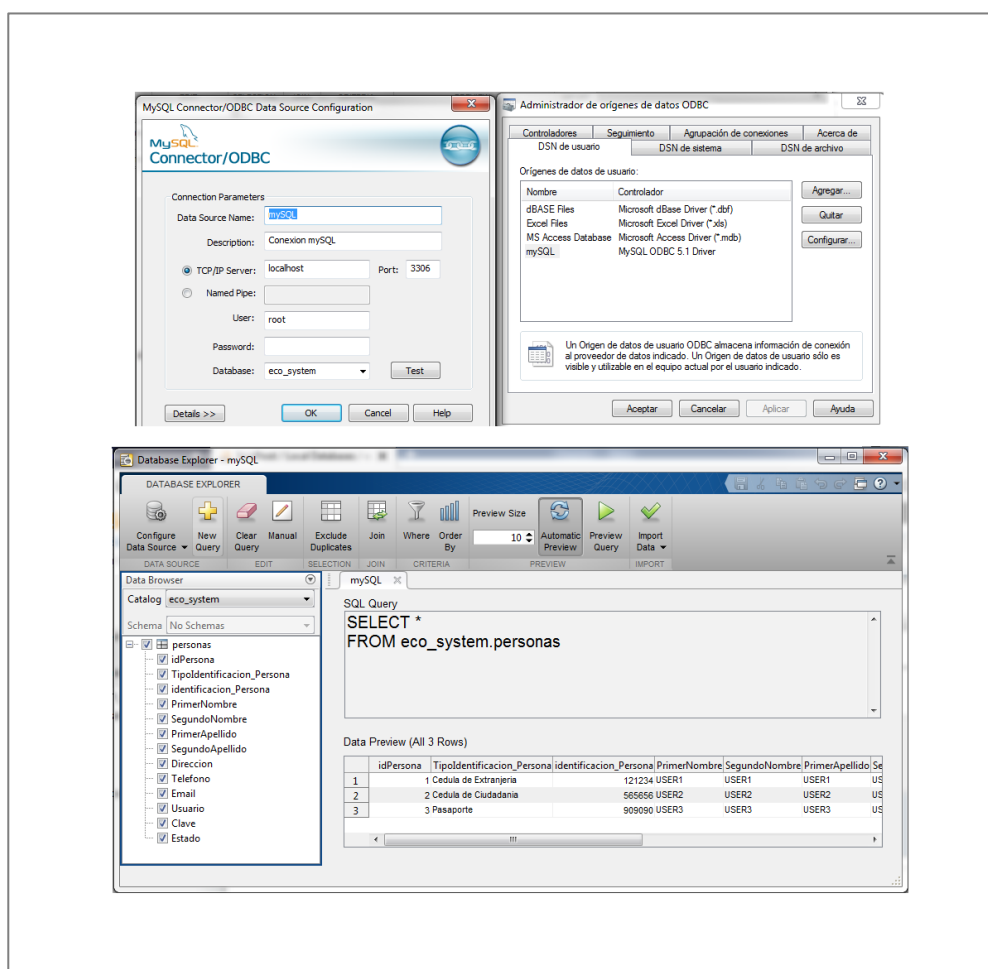
8.1.7 Desarrollo. En este punto se muestra una parte de los algoritmos implementados para cumplir la funcionalidad del prototipo, así como la conexión entre matlab y arduino para llevar a cabo el proceso de clasificación física de los residuos.

Se optó por implementar *Deep learning*, con el uso de una red neuronal convolucional básica, para que desarrolle la función de clasificación. El algoritmo base de esta red fue proporcionado por matlab, se adaptó a las necesidades del prototipo y se ajustó el entrenamiento para cumplir con un margen de error del 5%, lo que resulta aceptable para el sistema en general.

8.1.7.1 Conexión mySQL Workbench. Con el objetivo de realizar la conexión a la base de datos, se configuró un origen de datos y se conectó utilizando el controlador ODBC 5.1 de mySQL.

Para lograrse esta conexión debe seguirse esta ruta: Barra de herramientas de MATLAB: en la pestaña Aplicaciones, haga clic en la flecha Mostrar más para abrir la galería de aplicaciones. Luego, en Conectividad de base de datos e informes, haga clic en Explorador de base de datos, como se muestra en la **figura 28**.

Figura 28. Conexión con base de datos.



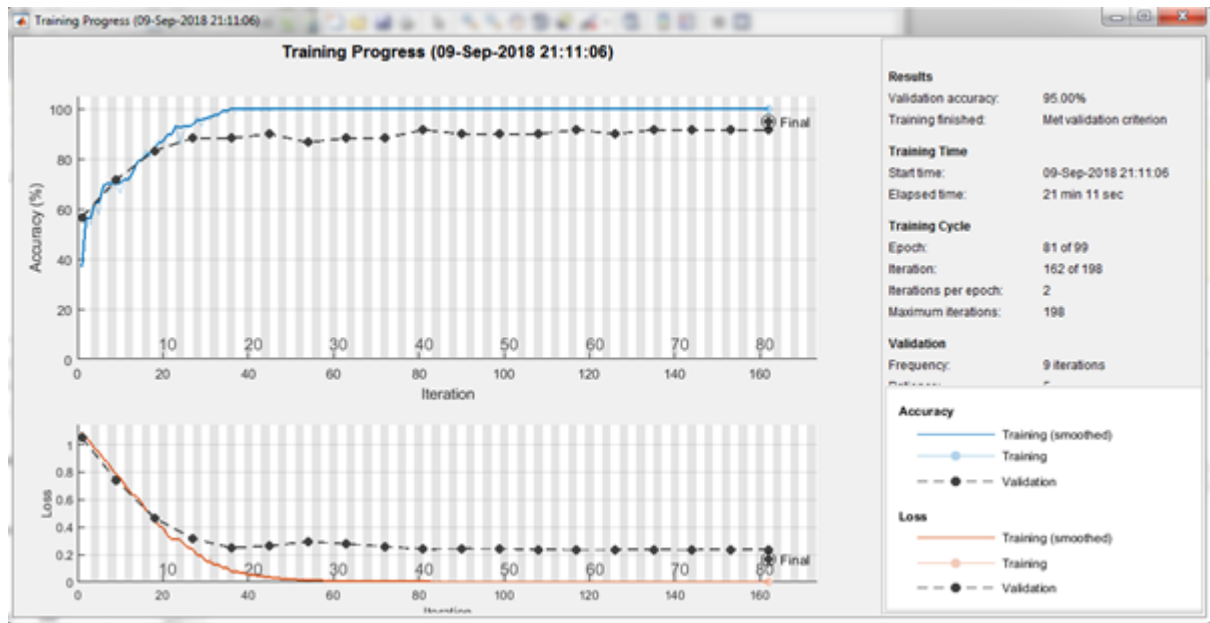
8.1.7.2 Algoritmo. A continuación, se muestra un fragmento del código correspondiente al entrenamiento de la red neuronal convolucional.

Figura 29. Fragmento de código entrenamiento de red neuronal convolucional.

<pre> %% %Calcule la cantidad de imágenes en cada categoría labelCount = countEachLabel(imds) %% %Debe especificar el tamaño de las imágenes en la capa de entrada de la red. %Comprueba el tamaño de la primera imagen digitData. Cada imagen es de %28 por 28 por 3 píxeles. img = readimage(imds,1); size(img) </pre>	
<pre> %% % Especificar entrenamientos y conjuntos de validación % Divida los datos en conjuntos de datos de capacitación y validación, % de modo que cada categoría en el conjunto de capacitación contenga 750 imágenes, % y el conjunto de validación contenga las imágenes restantes de cada etiqueta. % splitEachLabel divide el almacén de datos digitData en dos nuevas áreas de % almacenamiento de datos, trainDigitData y valDigitData. numTrainFiles = 100; %***imágenes para entrenar la red [imdsTrain,imdsValidation] = splitEachLabel(imds,numTrainFiles,'randomize'); </pre>	
<pre> %% %Definir arquitectura de red %Definir la arquitectura de red neuronal convolucional. layers = [imageInputLayer([228 228 3]) convolution2dLayer(3,16,'Padding',1) batchNormalizationLayer reluLayer maxPooling2dLayer(9,'Stride',9) convolution2dLayer(3,32,'Padding',1) batchNormalizationLayer reluLayer maxPooling2dLayer(9,'Stride',9) convolution2dLayer(3,64,'Padding',1) batchNormalizationLayer reluLayer fullyConnectedLayer(3) softmaxLayer classificationLayer]; </pre>	
<pre> %% %Especificar opciones de entrenamiento options = trainingOptions('sgdm', ... 'MaxEpochs',99, ... 'ValidationData',imdsValidation, ... 'ValidationFrequency',9, ... 'Verbose',false, ... 'Plots','training-progress'); </pre>	
<pre> %% %Red de trenes utilizando datos de capacitación net = trainNetwork(imdsTrain,layers,options); </pre>	
<pre> %% %Clasifique las imágenes de validación y calcule la precisión YPred = classify(net,imdsValidation); YValidation = imdsValidation.Labels; accuracy = sum(YPred == YValidation)/numel(YValidation) </pre>	

Una vez adaptado el algoritmo se realizó el entrenamiento de la red neuronal, el cual se evidencia en la **figura 30**, con un entrenamiento que admite un margen de error del 5%.

Figura 30. Entrenamiento red neuronal convolucional.



Los prerequisites de software que deben estar instalados para realizar el algoritmo y entrenar la red neuronal son:

- NVIDIA CUDA Visual Studio Integration 9.2 Deep Learning Institute, que es un acelerador de procesos computacionales
- Microsoft .NET Framework 4
- Microsoft Visual C++ 2010, 2013 o 2015. (la versión 2017, el complemento que se requiere para el proceso no es compatible)
- Matlab2018a.

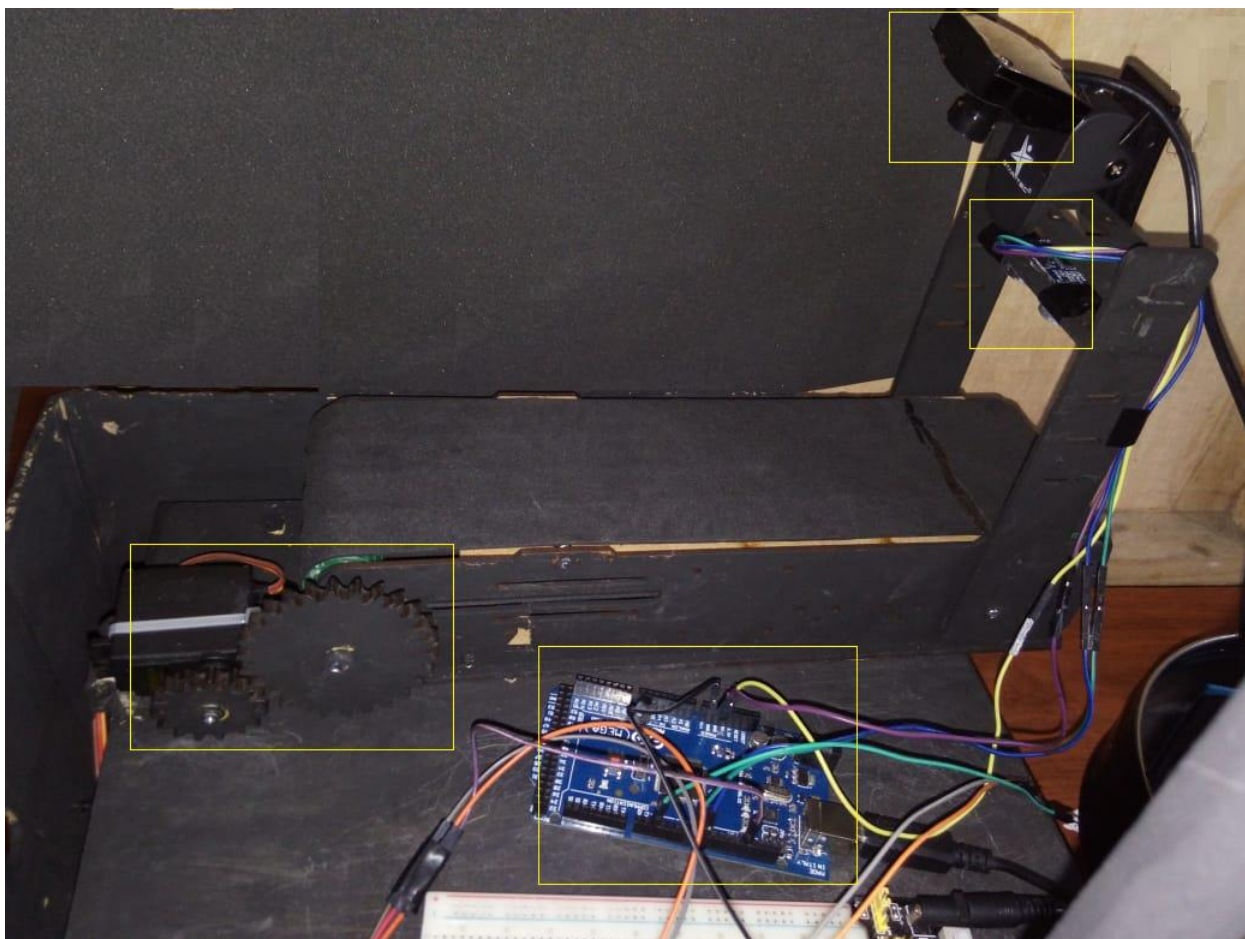
8.1.7.3 Hardware. En cuanto al hardware se deben preinstalar los complementos enunciados que tiene por defecto Matlab (se pueden encontrar en la siguiente ruta: Home/Add-Ons/Get Hardware Support Package):

- Matlab Support Package for arduino
- Simulink Support Package for arduino hardware
- Matlab Support Package for USB webcams

El hardware está compuesto por las siguientes partes:

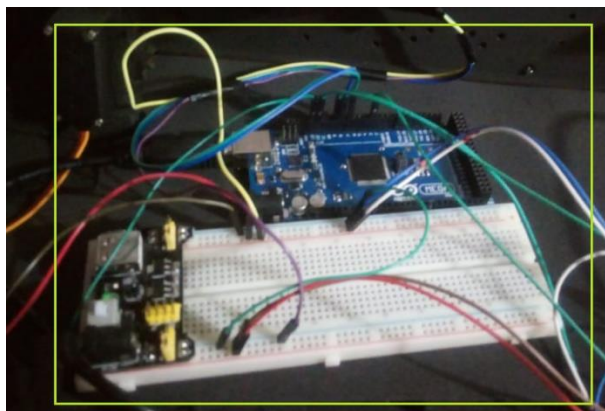
- a. **Cinta transportadora:** encargada de llevar los residuos hasta las pinzas, con una velocidad constante, se encuentra dotada de webcam y sensor HC-SR04. Detallada en la figura 31.

Figura 31. Prototipo de cinta transportadora de residuos.



- b. **Cableado y energía.** Se realizó el montaje de conexiones en Protoboard para llevar a cabo el control desde Matlab a través de arduino mega 2560, se empleó una fuente de energía, ampliada en la figura 32.

Figura 32. Cableado y energía. Para energizar el sistema se emplea una tarjeta convertidora DC-DC, que recibe la energía directamente de la toma eléctrica, y proporciona 5V, de manera continua.



- c. **Contenedor giratorio:** pieza circular con servomotor rotativo, ejecuta la separación de material, se encuentra dividido en tres partes, cada una de ellas corresponde al 33,33% del total, con el mismo valor se encuentra sincronizado el servomotor, para realizar los movimientos.

Figura 33. Contenedor giratorio. Figura de perímetro circular, que cuenta con un servo en la parte inferior que controla el grado de giro, según el tipo de material que se haya clasificado.



8.1.7.4 Integración software y hardware. Para lograr esta integración se acude a la comunicación por puerto serial, y se realiza la conexión en matlab, como se detalla en la siguiente figura.

Figura 34. Conexión de arduino - Matlab

```
%-----
%conexión arduino
a = arduino('COM8', 'Mega2560', 'Libraries', {'JRodrigoTech/HCSR04', 'Servo', 'Adafruit/MotorShieldV2'}); %conexión :
sensor = addon(a, 'JRodrigoTech/HCSR04', 'D3', 'D6'); %orden de los pines D7=TRIGGER PIN & D8=ECHO PIN
servo_motor1= servo(a, 'D9'); %Servo 1 base
servo_motor2= servo(a, 'D4'); %Servo 2 banda
% writePosition(servo_motor2, 1);
% distancia = readDistance(sensor)*100; %Distancia=((Tiempo entre Trig y el Echo) * (V.Sonido 340 m/s))/2
% set(handles.txtDistancia,'String',distancia); %muestra la distancia detectada
for theta = 1 : 1/360 : 1

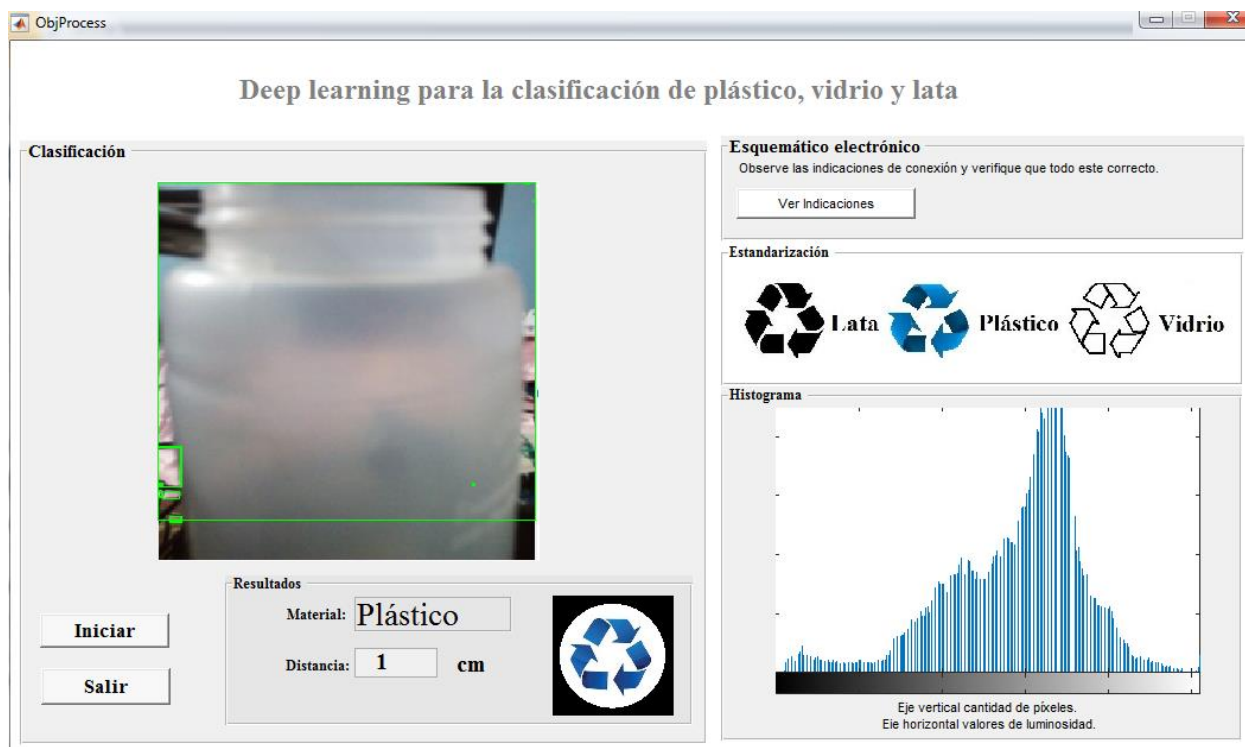
    writePosition(servo_motor2, 1);
    distancia = readDistance(sensor)*100; %Distancia=((Tiempo entre Trig y el Echo) * (V.Sonido 340 m/s))/2
    set(handles.txtDistancia,'String',distancia); %muestra la distancia detectada
    clear distancia; %reinicia variable
    dist = readDistance(sensor);
    if dist<3
        detener=0.5; %detener servo
        writePosition(servo_motor2,detener);
    end
end
```

En este punto el prototipo es funcional, se encuentra listo para realizar las pruebas de funcionamiento. El ciclo de ejecución del hardware inicia con una petición del usuario, quien además debe suministrar un material de tamaño máximo 7x6x10 cm, para que el prototipo pueda realizar su clasificación. Una vez suministrado el material, y recibida la petición por parte del usuario, la cinta transportadora inicia su movimiento hacia el contenedor rotativo, pasado 3 segundos, la cámara web es activada y captura una fotografía, posteriormente se hace un llamado a la red neuronal convolucional, que realiza la clasificación, de esta clasificación se envía una orden al servomotor 2, para que gire el contenedor, dependiendo el tipo de material, el cual se puede identificar por los colores de la división del contenedor, teniendo en cuenta la estandarización de negro-lata, azul-plástico, blanco-vidrio, como se muestra en la **figura 34**.

Figura 35. Funcionamiento de hardware. Se observa la copa plástica, siendo clasificada por el prototipo.



Figura 36. Funcionamiento de Software. Internamente recibe petición de inicio, evoca el llamado a la red neuronal convolucional y muestra los resultados de clasificación, así como un histograma que permite identificar el nivel de luminosidad, el cual se debe tener en cuenta, en caso de resultados erróneos.



8.1.7.5 Pruebas y ajustes. Se hicieron pruebas de funcionamiento de la base de datos, del proceso de clasificación, así como de conexión de hardware, mediante un simulador y se implementaron los esquemáticos electrónicos.

- La base de datos respondió de forma adecuada, conforme se esperaba, se realizaron registros de prueba y ejecutó las operaciones de búsqueda y edición de manera correcta.
- En cuanto a la clasificación de residuos se debe desarrollar en un ambiente controlado, pues las variaciones pueden afectar los resultados.
- El hardware tuvo que ser modificado de la estructura inicial, ya que al realizar pruebas este no respondió como se esperaba, lo cual se amplía en la tabla 8, donde se indican las medidas asumidas, para lograr la funcionalidad del prototipo.

8.2. Costo del proyecto.

El desarrollo del proyecto de grado constituye la interacción entre hardware y software, por tal razón se tiene en cuenta el proceso de estimación de costos como un factor determinante que se debe llevar a cabo empleando ciertas técnicas que permitan obtener un valor fiable, lo que permite desarrollar el proyecto en fases.

A continuación, se muestra la tabla que indica los costos financieros para la realización de este proyecto. Para los casos de asesoría, desarrollo de software, imprevistos, internet y otros, se calculó el 5% del costo total, mientras que el costo correspondiente a hardware fue detallado y totalizado.

Estos costos incluyen costos de adquisición o producción, costos logísticos, costos operativos, costos de entrega, costos de documentación.

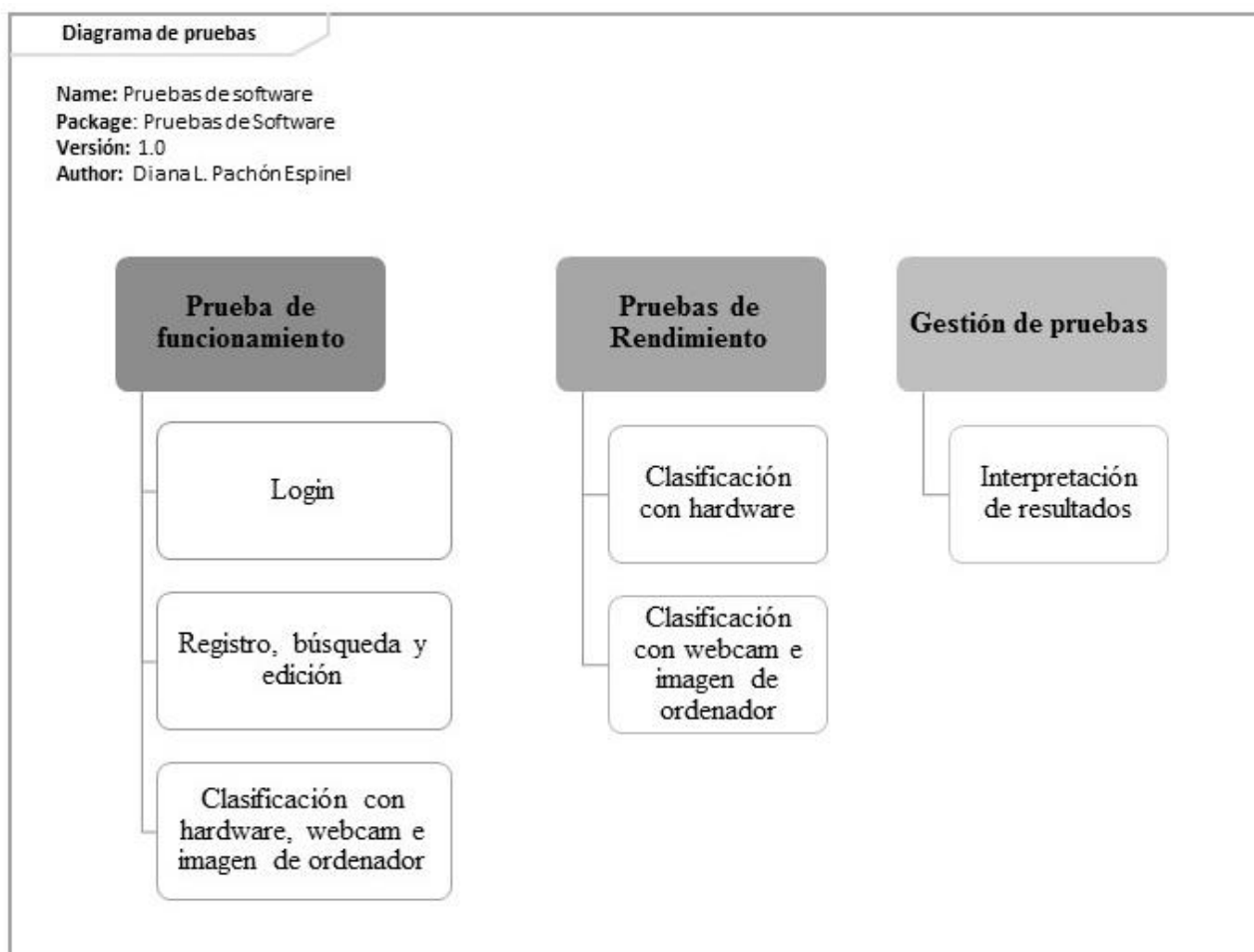
Tabla 8. Costo del proyecto

Concepto	Cantidad	Tiempo	Valor Unitario	Valor Total
RECURSO HUMANO				20.400.000
Desarrollador	1	8	950.000	7.600.000
Control de Calidad	1	8	1.300.000	10.400.000
Servicios adicionales	1	8	300.000	2.400.000
INFRAESTRUCTURA				996.000
Servicios de acueducto y alcantarillado	1	5	55.000	275.000
Servicio de energía eléctrica	1	5	45.000	225.000
Servicio de internet	1	8	62.000	496.000
EQUIPOS DE CÓMPUTO Y DE PROCESAMIENTO				1.200.000
Portátil	1	8	150.000	1.200.000
OTROS				18.000
Papelería	1	1	18.000	18.000
Subtotal costo del proyecto				22.614.000
Imprevistos 10%				2.261.400
Total				24.875.400

9. TESTER.

La calidad del software tiene relación directa con el cumplimiento de los requerimientos funcionales y de rendimiento, documentados en los diagramas de requerimientos y con las funcionalidades implícitas que se espera de todo software desarrollado profesionalmente, para el prototipo planteado se realizaron pruebas que miden estas características y fueron integradas en una matriz con requerimientos específicos que permiten interpretar los resultados. En la siguiente ilustración se detallan las pruebas aplicadas por cada módulo.

Figura 37. Diagrama de pruebas



9.1 Aplicación de pruebas

Se inicia con pruebas de funcionamiento, simultáneamente se aplican las de rendimiento, para finalizar con la gestión de estas, donde se analizan los resultados.

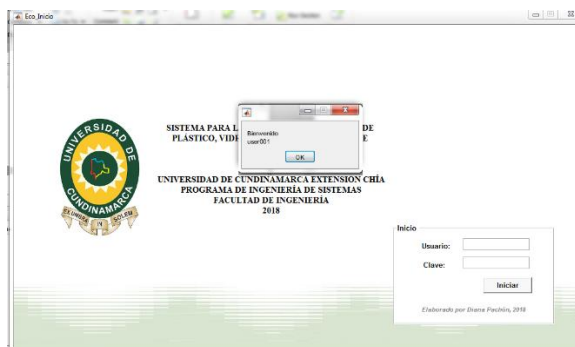
Tabla 9. Prueba MOD01

Tipo de prueba:	Funcionamiento	Código:	MOD01
Modulo:	Registro de usuarios		
Proceso a testear:	Acceso, registro, búsqueda y edición de usuarios		
Usuario para pruebas:	USER001		
Clave:	0369		
Fecha:	30 de septiembre de 2018.		
Ítem	Cumple		
	Si	No	
Valida el acceso para el usuario	X		
Informa términos y condiciones	X		
Valida el tipo de dato a ingresar en cada campo	X		
Valida la extensión de caracteres para usuario y clave	X		
Permite inactivar usuarios	X		
Cuenta con algún filtro de búsqueda de usuario	X		
Al editar un usuario, guarda estos cambios	X		
Observaciones			
Se cumple con los requerimientos mínimos establecidos			

Con esta prueba se evidencia el cumplimiento de los requerimientos básicos del aplicativo, las cuales son acceder, registrar un nuevo usuario, realizar búsquedas teniendo en cuenta un filtro, en este caso el número de identificación, y editar algún registro previamente hecho, adicional cuenta con mensajes que facilitan los procesos, como validación de tipo de dato y extensión para el caso del usuario y contraseña.

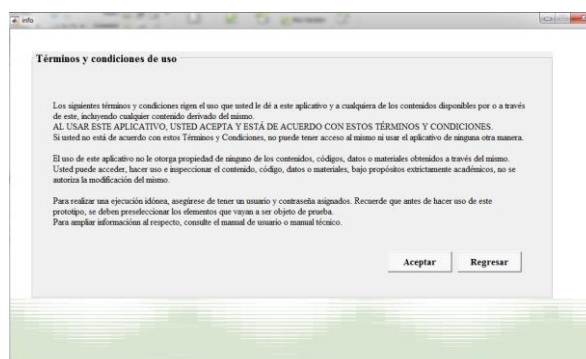
En la ilustración 38 se detallan la prueba de acceso con el usuario seleccionado para ello.

Figura 38. Prueba de Login.



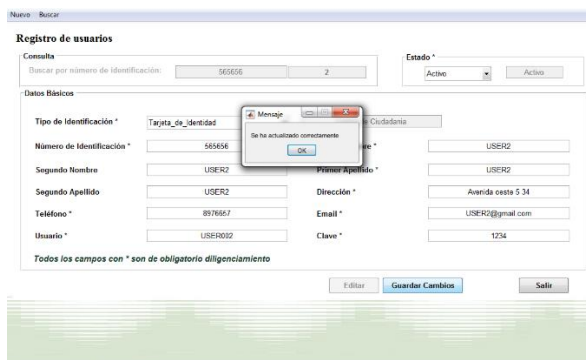
En la ilustración 39 observamos la información de términos y condiciones, que deben ser aceptadas para hacer uso del prototipo.

Figura 39. Términos y condiciones



La prueba de nuevo registro, búsqueda y edición se muestra en la ilustración 40.

Figura 40. Prueba de registro, búsqueda y edición



A continuación, se realizan las pruebas de funcionamiento y rendimiento del prototipo.

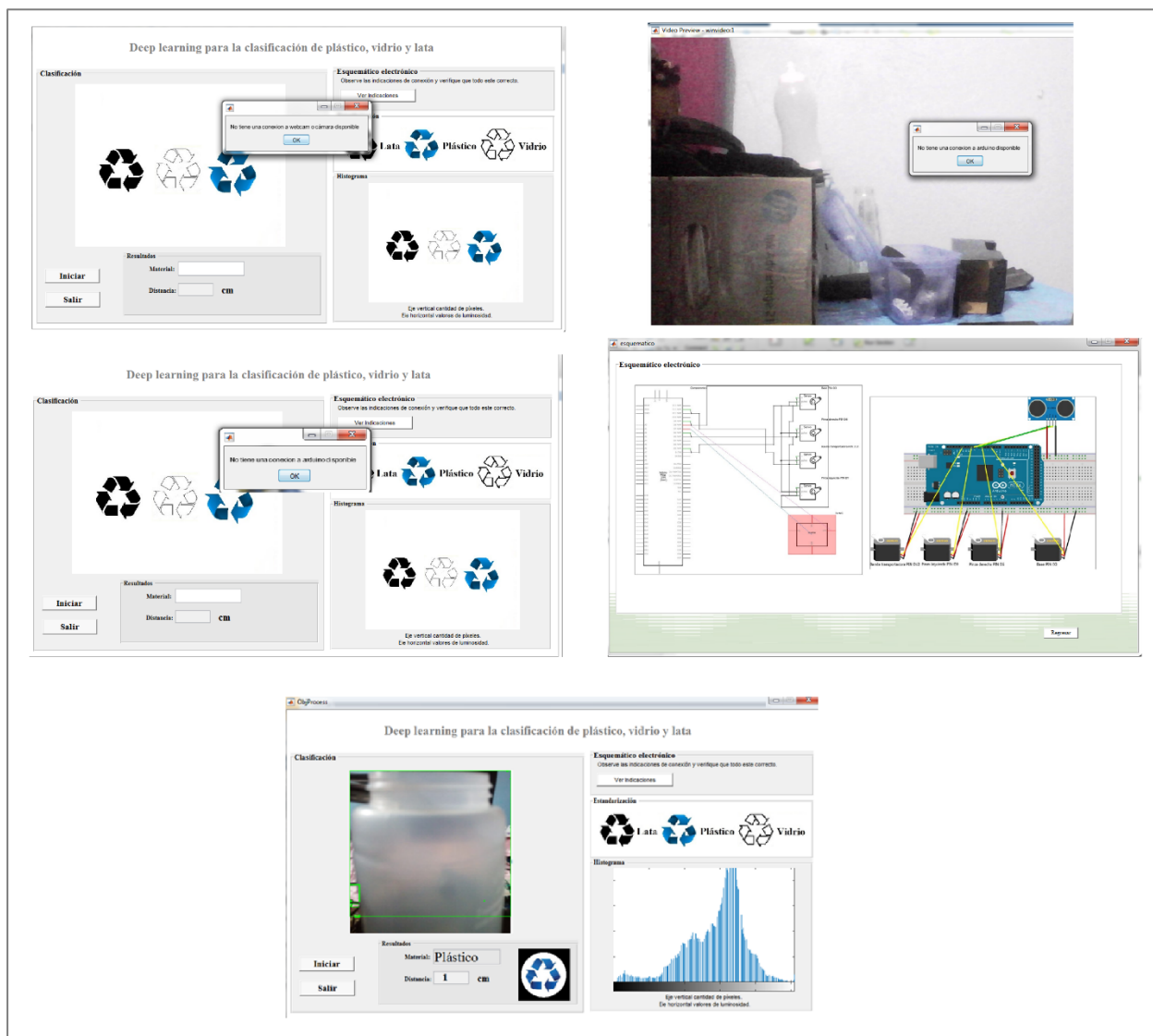
Tabla 10. Prueba MOD02

Tipo de prueba:	Funcionamiento	Código:	MOD02
Modulo:	Clasificación con hardware		
Proceso a testear:	Validación de hardware		
Usuario para pruebas:	USER001		
Clave:	0369		
Fecha:	30 de septiembre de 2018.		
Ítem	Cumple		
	Si	No	
Valida de conexión de arduino	X		
Validación de conexión de webcam	X		
Vista de estandarización de residuos	X		
Ayuda para conexión de hardware	X		
Observaciones			
Se cumple con los requerimientos establecidos			

En la siguiente ilustración se evidencia el desarrollo de la prueba MOD02, donde se validan las diferentes conexiones de hardware, webcam y se adiciona una ayuda visual para quien desee replicar el prototipo, también se muestra la estandarización de residuos, para que al realizarse la clasificación sea tenida en cuenta.

La validación de hardware tomo 5 segundos en devolver un mensaje de respuesta y en caso de no contar con el hardware envía un mensaje al usuario, notificando de la ausencia de conexión, si tiene el hardware disponible inicia la clasificación.

Figura 41. Prueba MOD02.

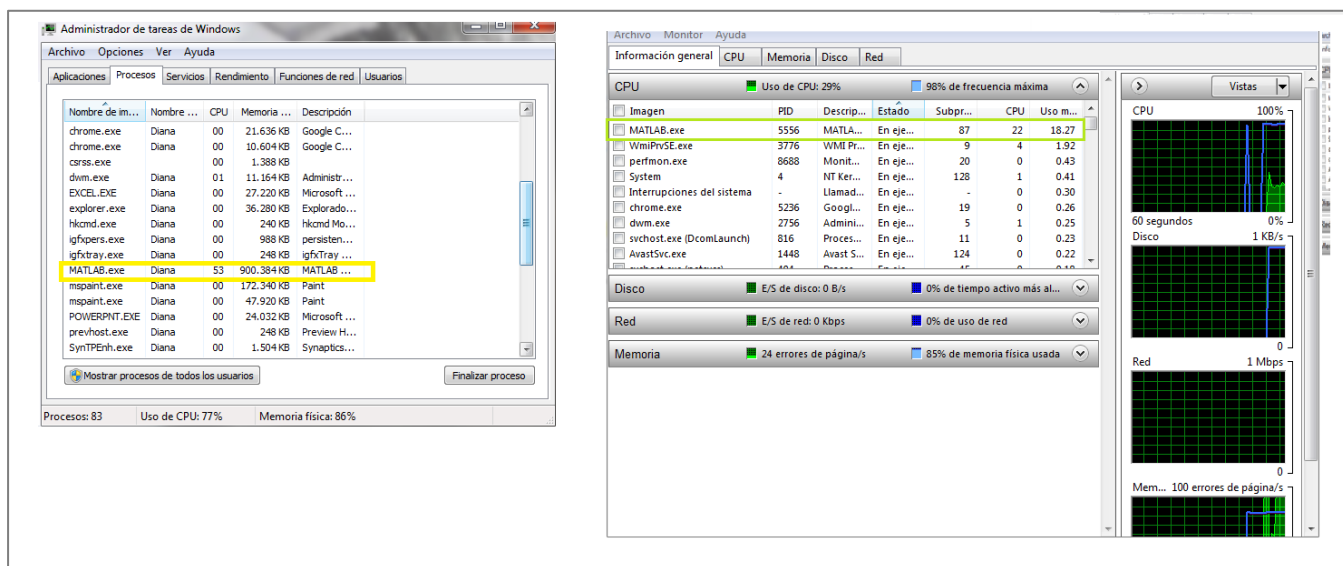


Durante la ejecución de la anterior prueba se realizó la prueba de rendimiento, donde se midió hizo seguimiento al consumo de recursos computacionales del aplicativo en ejecución, para ampliar esta información revise la tabla.

Tabla 11. Prueba de rendimiento.

Tipo de prueba:	Rendimiento	Código:	MOD03
Modulo:	Clasificación con hardware		
Proceso a testear:	Validación de hardware		
Usuario para pruebas:	USER001		
Clave:	0369		
Fecha:	30 de septiembre de 2018.		
Ítem		Cumple	
		Si	No
Costo de CPU al realizar la ejecución		X	
Observaciones			
Es viable para implementar en un equipo con procesador core i3, similar o superior			

Figura 42. Prueba MOD03.



CAPÍTULO 4.

10. CONCLUSIONES.

En este proyecto se realizó un prototipo de sistema automatizado integrado con un algoritmo de *deep learning* y visión artificial, mediante una red neuronal convolucional, la cual ejecuta la clasificación de empaques de plástico, vidrio y lata. Este desarrollo se hizo con el ánimo de exponer las ventajas de una herramienta colaborativa en el proceso del reciclaje, de esto se derivan las siguientes conclusiones:

- Es importante realizar una entrevista como base de partida a personas con amplios conocimientos sobre el tema, pues esta información permitió formalizar los requerimientos funcionales del aplicativo.
- El modelado de diferentes procesos, representan un enfoque claro a seguir durante el desarrollo, estos diagramas reducen la posibilidad de errores y en colaboración con la metodología ágil Kanban, se consiguió cumplir con las funcionalidades propuestas.
- Se amplió la visión sobre las aplicaciones de *deep learning* en los procesos cotidianos, ya que se consiguió incorporar a un prototipo aprovechando sus ventajas en la optimización de tareas repetitivas, sin reducir la calidad.
- En el aplicativo se diseñó una interfaz que permite a usuarios que no cuenten con el hardware probar la capacidad de clasificación de la red neuronal convolucional, con la finalidad de despertar la curiosidad por el aprendizaje profundo y sus aplicaciones.
- El diseño de un hardware a escala expuso resultados positivos, lo que indica que este prototipo se puede adaptar a procesos de clasificación de residuos para contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- Respecto a la formulación del problema se definieron los conceptos de plástico, vidrio y lata para tener claridad sobre la ejecución del prototipo, y se demostró que este sistema automatizado con visión artificial puede realizar la selección de dichos empaques, aunque requiere de un ambiente controlado, bajo restricciones de luminosidad y capacidad del hardware.

11. RECOMENDACIONES.

A continuación, se describe una serie de restricciones de software, hardware, ambiente e iluminación para ejecutar el prototipo, los cuales son:

- En cuanto al software se deben preinstalar complementos y librerías que dan soporte al hardware empleado, así como actualizar controladores del ordenador, respecto a los puertos de comunicación serial, se recomienda instalar NVIDIA CUDA Visual Studio Integration 9.2 Deep Learning Institute, que es un acelerador de procesos computacionales, microsoft .NET Framework 4, Microsoft Visual C++ 2010, 2013 o 2015. (En la versión 2017, el complemento que se requiere para el proceso no es compatible).
- Con respecto al hardware, lo recomendado es ejecutarlo en equipos con procesador Intel core i3, similares o superiores, contar con una webcam de 1.3 megapíxeles o superior, para la conexión arduino mega 2560, servomotores de torque metálico, y sensor de ultrasonido HCSR04.
- Se debe contar con un ambiente adecuado, recomendable que sea interno, con una fuente de energía continua, y disponer del contenedor estandarizado, ubicado a 33°, 66° y 99° cubriendo el contenedor cilíndrico.
- Respecto a la iluminación lo ideal es tener condiciones que reduzcan especularidad, es decir manejar una iluminación difusa.

12. PROYECCIONES.

Este prototipo de sistema automatizado con visión artificial para la selección de plástico, vidrio y lata en el proceso del reciclaje, se proyecta como una solución viable para emplear en la sociedad actual, que genera una gran cantidad de residuos y busca soluciones para que los procesos industriales sean autosostenibles, sin ocasionar daños ambientales.

Se considera de gran importancia la aplicación de visión artificial en los sistemas de industria que requieran realizar tareas repetitivas, ya que estos procesos se pueden llevar a cabo de manera eficiente, reduciendo costos, también se debe considerar como un campo de profundización para la vida profesional, ya que hoy en día las tecnologías convergen a la implementación de este tipo de herramientas.

Se proyecta el prototipo como una visión factible de implementar, pero aun en etapa de desarrollo, ya que en los procesos que involucran aprendizaje profundo requieren un número elevado de entrenamientos, para que se consiga adaptar a un proceso industrializado.

REFERENCIAS.

- Botero, C. (17 de mayo de 2017). En Colombia solo se recicla el 17% de las basuras, caracol radio. Recuperado en caracol.com.co: http://caracol.com.co/radio/2017/05/17/nacional/1495047458_796244.html
- Briega, A. (11 de agosto de 2018). Deep Learning - Libro online de IAAR. Recuperado en iaarbook.github.io: <https://iaarbook.github.io/deeplearning/>
- Bríñez de León, J. C. (24 de mayo de 2016). www.minas.medellin.unal.edu.co. Recuperado en <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/facultad/709-proyecto-de-estudiante-de-la-u-n-recibe-reconocimiento-por-parte-de-la-oea>
- Calvo, D. (20 de julio de 2017). Red neuronal Convolutacional CNN. Recuperado en <http://www.diegocalvo.es/red-neuronal-convolutacional-cnn/>
- Caparrini, F. (7 de septiembre de 2017). Clasificación Supervisada y No Supervisada. Recuperado el 18 de julio de 2018, de <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=77>
- Castells, E. (2013). Residuos vitrificables: Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Díaz de Santos. ISBN 9788499693774.
- Castiñeira, N. ((s.f.)). Sistemas de Control. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/sistemadecontrol/index%20sistemasdecontrol.htm>
- Ciresan, D., & all. et. ((s.f.)). Neural Networks for Image Classification. Recuperado el 22 de agosto de 2018, de <http://people.idsia.ch/~juergen/ijcai2011.pdf>
- Conacyt. (15 de agosto de 2017). Agencia Informativa Conacyt. Recuperado en <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/16862-drones-cuidado-ambiental>
- Contaval. (18 de febrero de 2016). Visión artificial y aplicaciones. Recuperado en <http://www.contaval.es/que-es-la-vision-artificial-y-para-que-sirve/>

- DANE. (23 de septiembre de 2017). Cuenta ambiental y económica de flujo de materiales; Página 14. Recuperado en [www.dane.gov.co: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/BT-Cuenta-residuos-2015p.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/BT-Cuenta-residuos-2015p.pdf)
- Esacademic. ((S.F.)). Imagen especular. Recuperado el 30 de agosto de 2018, de <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/603296>
- Garzas, J. (22 de noviembre de 2011). Metodología Kanban, Recuperado en <http://www.javiergarzas.com/2011/11/kanban.html>
- González, G. ((s.f.)). Latas + Reciclaje = Arte. Recuperado el 9 de noviembre de 2018, de <http://recicla-latas.blogspot.com/2010/11/por-que-reciclar-el-aluminio.html>
- Ikusmen. (18 de mayo de 2016). Introducción a la visión artificial. Recuperado el 23 de agosto de 2018, de http://www.ikusmen.com/documentos/descargas/3cbb38_Introduction%20to%20Machine%20Vision.pdf
- INCONTEC. (20 de 05 de 2009). Norma Técnica Colombiana GTC 24. Recuperado el 30 de agosto de 2018, de <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC%204%20DE%202009.pdf>
- Kumar, & all et. (8 de agosto de 2015). Sistema automatizado de reconocimiento de colores para visualmente Desafiado y Achromatopsia personas que usan Arduino y aplicación móvil. Recuperado en [Researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/281538436_Automated_Color_Recognition_System_for_Visually_Challenged_and_Achromatopsia_People_using_Arduino_and_Mobile_App?_sg=XwPA__DuNTdEOgcs-3mi3qgJMZNsJg0VmOLp5pkVYxO6y70SUG1Y7pwZbaKxRe-6nJl37vJ01A](https://www.researchgate.net/publication/281538436_Automated_Color_Recognition_System_for_Visually_Challenged_and_Achromatopsia_People_using_Arduino_and_Mobile_App?_sg=XwPA__DuNTdEOgcs-3mi3qgJMZNsJg0VmOLp5pkVYxO6y70SUG1Y7pwZbaKxRe-6nJl37vJ01A)
- La Cruz, A. ((s.f.)). Procesamiento de imágenes. Recuperado el 29 de agosto de 2018, de <https://ldc.usb.ve/~alacruz/cursos/ci4321/teoria/ProcesamientoDeImagenes.pdf>

Universidad de Montreal. (1 septiembre 2015). Deep Learning Tutorial Release 0.1. Recuperado en <http://deeplearning.net/tutorial/deeplearning.pdf>.

Mathworks. ((s.f.)). Aprendizaje Supervisado. Recuperado el 28 de junio de 2018, de <https://la.mathworks.com/discovery/aprendizaje-supervisado.html>

Mathworks. (09 de junio de 2018). Detección de objetos mediante Deep Learning. Recuperado en la.mathworks.com: <https://la.mathworks.com/help/vision/examples/object-detection-using-deep-learning.html>

Mathworks. (10 de agosto de 2018). Soporte de MATLAB para Arduino. Recuperado en la.mathworks.com: <https://la.mathworks.com/hardware-support/arduino-matlab.html>

MySQL Workbench. (13 de agosto de 2018). Mysql.com. Recuperado en <https://www.mysql.com/products/workbench/>

National Instruments. ((s.f.)). Comunicación Serial: Conceptos Generales. Recuperado el 9 de septiembre de 2018, de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1#hs>

Revista técnica de medio ambiente. (06 de febrero de 2015). Robótica aplicada a la clasificación de residuos. Recuperado en www.retema.es: <https://www.retema.es/noticia/wall-b-robotica-aplicada-a-la-clasificacin-de-residuos>

Reynaga, R. ((s.f.)). Reconocimiento de patrones. Recuperado el 13 de agosto de 2018, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2009000100005

Sánchez, M. ((s.f.)). Métodos avanzados en aprendizaje artificial. Recuperado el 13 de agosto del 2018, de http://arantxa.ii.uam.es/~msanchez/docencia/maaa/transparencias/Intro_1112.pdf

Segui, P. (14 de febrero de 2014). www.egreenenvironment.com/sistema.html. Recuperado en <https://patentados.com/2014/sistema-para-el-tratamiento-de-residuos.1>: <http://www.egreenenvironment.com/sistema.html>

Sistemas.com. ((s.f.)). Casos de uso. Recuperado el agosto 13 de 2018, de <https://sistemas.com/casos-de-uso.php#>

Sugrañes, L. ((s.f.)). Procesos y aplicaciones de análisis de imágenes digitales. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de http://www.dimages.es/Tutorial%20A.I/Index_tutorial.htm

Turnero, P. (11 de agosto de 2018). Monografias.com. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <https://www.monografias.com/docs114/sistemasinformacion/sistemasinformacion2.shtml>

UAESP. (17 de agosto de 2017). Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos. Recuperado en <http://oab.ambientebogota.gov.co>: <http://oab.ambientebogota.gov.co/>

Vanderlande. (9 de agosto de 2018). vanderlande.com. Recuperado en <https://www.vanderlande.com/es/almacenamiento/sistemas-innovadores/clasificacion/crossorter>

Vega, D. (junio de 2014). Teoría de sistemas clasificadores basados en reglas LCS, XCS, Y GXCS. Recuperado el 16 de agosto del 2018, de <http://slides.com/danivegamx/teoria-sistemas-clasificadores-delfin14#/>

Wikipedia. (25 de marzo de 2017). Imagen especular. Recuperado el 30 de agosto de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_especular

Wordreference. ((s.f.)).Plástico. Recuperado el 9 de noviembre del 2018, de <http://www.wordreference.com/definicion/plastico>

ANEXO A.

Entrevista

Como punto de partida de la investigación se realizó una entrevista a la coordinadora del plan de gestión integral de residuos sólidos de la empresa de servicios públicos del municipio de Cajicá, Cundinamarca, La señora Deira Suarez, quien amplió información sobre el proceso de reciclaje manejado en el municipio, con ello se consiguió determinar algunos requisitos funcionales que debería cumplir un prototipo para la clasificación de residuos, también comentó acerca de las expectativas de un desarrollo tecnológico para automatizar este proceso debido a que en el momento no cuentan con ningún mecanismo, aplicativo o tecnología que contribuya en la clasificación de residuos, complementando al tema, mencionó la importancia de tener en cuenta el decreto 596 de 2016, el cual indica sobre la necesidad de promover acciones en favor del gremio de recicladores.

De la información suministrada se pudo concluir que para realizar la clasificación de residuos reciclables se hace necesaria la implementación de una tecnología robusta, que brinde óptimos resultados, así mismo se comprendió que el municipio de Cajicá Cundinamarca, no cuenta con ningún mecanismo, aplicativo o tecnología que contribuya en la clasificación de residuos.

Para ampliar sobre el contenido de la entrevista consulte el siguiente link:

<https://youtu.be/8gnBj2qv3pk>

También puede encontrar el video en la carpeta de anexos.

ANEXO B.**Artículo Deep Learning para la clasificación de residuos reciclables**

Como resultado de la investigación realizada para el desarrollo del prototipo, se realizó un artículo con enfoque científico, que reúne los puntos cruciales, en la elaboración del sistema, así como información relevante del mismo.

Se muestra de manera lineal los antecedentes para el prototipo, la base de investigación, el desarrollo del sistema, los inconvenientes y pruebas, así mismo se exponen los resultados obtenidos.

Este artículo lo puede encontrar en la carpeta Anexos.

ANEXO C.

Manual técnico y de usuario

El Manual de técnico tiene como objetivo servir de guía en la instalación del sistema. Para ello, en primer lugar, se especifican los requerimientos hardware y software necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, posteriormente se describe cada uno de los pasos necesarios para la configuración, compilación e instalación del sistema. Este manual se encuentra en la carpeta de anexos, adicionalmente, puede consultar el video guía en el siguiente link:

https://youtu.be/Zd_uMQkziVc

El manual de usuario indicará como puede desplazarse de manera eficiente por las diferentes interfaces, y los procesos que puede realizar, también será una guía para hacer un correcto uso del sistema, puede consultar el video en el siguiente link:

https://youtu.be/7_YA_vs3-aU

Estos manuales también los puede encontrar en la carpeta de anexos.

ANEXO D.**Programa y código fuente**

Se adjunta el programa y código fuente del sistema desarrollado, el cual puede consultar en la carpeta de anexos.