

**Desarrollo de un Dispositivo Lector de Billetes Colombianos para la Población con
Discapacidad Visual**

Wilber Yamith Duarte Vargas

Diego Armando Rojas Castañeda

Trabajo de Grado

Asesor de Proyecto

Fabio Gonzalez Rodríguez

Licenciatura en Diseño Tecnológico

Departamento de Tecnología

Facultad de Ciencia y Tecnología

Universidad Pedagógica Nacional

2021

Nota del Autor

Este trabajo de grado es realizado para cumplir el requisito formal, con el fin de optar al grado como licenciados en Diseño Tecnológico.

Cualquier mensaje con respecto al presente trabajo de grado debe ser enviado a los correos: dte_darojasc316@pedagogica.edu.co y dte_wyduartev756@pedagogica.edu.co.

Agradecimientos

Estamos finalizando una etapa que no fue fácil pero si una de las más importantes de nuestras vidas y estamos muy agradecidos con todas aquellas personas que estuvieron involucradas en nuestra enseñanza y formación como profesionales de la educación de nuestro país, queremos dar un agradecimiento especial a las personas con discapacidad visual que fueron participes de esta proyecto que siempre contaron con la disposición de tiempo para el desarrollo y validación del dispositivo que se diseñó a lo largo del proyecto.

Wilber Duarte: Agradezco primeramente a Dios por poder culminar no solo este proyecto si no el proyecto de vida que decidí trazar años atrás. También a mi familia por el apoyo incondicional a pesar de todos los obstáculos que se presentaron en el camino.

Diego Rojas: Le agradezco a mi padre Héctor Rojas por siempre estar y apoyarme en cada momento importante de mi vida por enseñarme a ser una persona responsable y dedicada cuando se quiere algo y a mi compañera de vida que siempre me da fuerzas y motivos para seguir adelante.

Índice	
Resumen.....	9
Planteamiento del problema.....	11
Objetivos.....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Justificación.....	13
Antecedentes.....	14
Marco conceptual.....	22
Dispositivo tecnológico.....	23
Dispositivo lector.....	23
Reconocimiento de billetes.....	23
Billete.....	23
Discapacidad visual.....	25
Ceguera.....	25
Baja visión leve.....	26
Baja visión moderada.....	26
Baja visión severa.....	26
Reconocimiento objetos personas con discapacidad visual.....	26
Actividades diarias.....	26
Accesibilidad.....	27
Autonomía.....	27
Requerimiento.....	28
Requerimiento de usuario.....	28
Requerimiento de sistema.....	28

Requerimiento funcional.....	28
Hardware prototipo lector de billetes.....	29
Arduino Nano.....	29
Batería 16340.....	29
Micromotor vibrador redondo 1027.....	29
Módulo Sensor de color TCS34725.....	30
Módulo TP4056.....	30
Filamento PLA.....	30
RGB.....	30
Software.....	31
Arduino.....	31
Metodología.....	31
Metodología de desarrollo del prototipo del dispositivo.....	34
Aspecto 1: Gestión.....	35
Planear.....	35
Organizar.....	37
Fase 1: Identificación del problema.....	37
Fase 2: Recolección de datos.....	37
Fase 3: Etapa de diseño.....	42
Fase 4: Etapa de construcción.....	47
Fase 5: Evaluación del diseño.....	48
Fase 6: Conclusión y retroalimentación.....	50
Aspecto 2: Requerimientos.....	52
Identificar.....	52
Contextualizar.....	57

Suficiente.	58
Medible.	59
Alcanzable.....	60
Relevante.....	62
Temporal.....	62
Organizar.....	63
Aspecto 3: Arquitectura.	65
Funcionamiento.....	66
Identificación de las denominaciones.	66
Procesamiento de datos.....	66
Resultados de lectura.	70
Consumo de energía del dispositivo.	71
Consumo de energía dispositivo funcionando.	71
Número de detecciones.....	72
Tiempo de uso.....	72
Tiempo de carga.....	73
Diagrama de conexiones del hardware.	73
Características del dispositivo.....	74
Uso del dispositivo.....	75
Diseño modelo carcasa.	78
Conclusión Arquitectura	83
Aspecto 4: Construcción.	84
Aspecto 5: Evolución.....	88
Prevenir.....	89
Ajustar.....	90

Predecir.....	90
Innovar.....	91
Resultados.....	92
Resultados instrumento de validación.....	95
Conclusiones.....	102
Recomendaciones.....	105
Referencias.....	105
ANEXOS.....	109

Índice de tablas

Tabla 1 Familia de Billetes Antiguos.....	24
Tabla 2 Familia de Billetes Nuevos.....	24
Tabla 3 En Base a la Planeación.....	35
Tabla 4 Modelos Empleados para pruebas base del diseño de prototipo.....	42
Tabla 5 Diseño del Modelo Resultante.....	47
Tabla 6 Presupuesto para la Construcción del Prototipo Lector de Billetes.....	51
Tabla 7 Actores Principales.....	54
Tabla 8 Componentes Principales del Dispositivo.....	55
Tabla 9 Relación de Actores vs Componentes.....	55
Tabla 10 Relaciones Simples.....	56
Tabla 11 Requerimientos que Debe Tener el Dispositivo Lector de Billetes.....	56
Tabla 12 Requerimientos Funcionales Suficientes.....	58
Tabla 13 Métrica del requerimiento.....	59
Tabla 14 Componentes alcanzables.....	61
Tabla 15 Requerimientos y actores involucrados.....	62
Tabla 16 Rangos de tiempo para el desarrollo de los componentes.....	62

Tabla 17 Organización de requerimientos	64
Tabla 18 Elementos del dispositivo	71
Tabla 19 Características dispositivo lector de billetes	74
Tabla 20 Denominación y característica de vibración	77
Tabla 21 Tareas diagrama Gantt Project.....	86
Índice de figuras	
Figura 1 Aspectos Principales de la Metodología GRACE.....	35
Figura 2 Estructura Organizacional del Proyecto	37
Figura 3 Resultados de la Pregunta 1.....	38
Figura 4 Respuestas de la Pregunta 4	39
Figura 5 Respuestas de la Pregunta 6	40
Figura 6 Respuestas de la Pregunta 7	41
Figura 7 Formato Pruebas de Modelos Dispositivo.....	44
Figura 8 Análisis de Resultados de Modelos.....	45
Figura 9 Porcentaje Total de Tamaño y Forma de los Modelos.....	46
Figura 10 Plano Carcasa Diseño.....	48
Figura 11 Similitud de Colores Entre Billetes	49
Figura 12 Zona de Desplazamiento del Billeto.....	49
Figura 13 Zonas de Lectura del Billeto.....	50
Figura 14 Ubicación del Billeto; Delimitación de Topes	50
Figura 15 Ubicación del Billeto; uso de Topes.....	51
Figura 16 Diagrama de Casos de Uso.....	53
Figura 17 Matriz Sensor de Color en Microscopio.....	66
Figura 18 Conexión Sensor de Color RGB con Arduino Nano.....	67
Figura 19 Código RGB a HSV por Medio de las Librerías.....	67

Figura 20 Representación de Color de RGB a HSV	68
Figura 21 Vibración Billete \$2000 Según Valor HSV	69
Figura 22 Diagrama de Flujo de Funcionamiento del Dispositivo.....	70
Figura 23 Micromotor Vibrador 1027	71
Figura 24 Circuito Interno del Dispositivo	74
Figura 25 Paso 1 Disposición Billete y Dispositivo	75
Figura 26 Paso 2 Ubicación Billete	76
Figura 27 Paso 3 Encender Dispositivo.....	76
Figura 28 Paso 5 Verificación Denominación Billete	78
Figura 29 Planos Carcasa Base de Dispositivo.....	79
Figura 30 Planos Tapa Carcasa de Dispositivo	80
Figura 31 Medidas Dispositivo Terminado	81
Figura 32 Ensamble de Dispositivo con sus Componentes Electrónicos en Vista Sombreada y Vista de Rayos X.....	82
Figura 33 Explosivo de Dispositivo.....	83
Figura 34 Cronograma de Actividades Realizado en el Software Gantt Project.....	85
Figura 35 Dispositivo Terminado	93
Figura 36 Dispositivo Ubicación Billete	94
Figura 37 Fotografía Pruebas a Usuario	95
Figura 38 Ítem 1 Instrumento de Validación	95
Figura 39 Ítem 2 Instrumento de Validación	96
Figura 40 Ítem 3 Instrumento de Validación	96
Figura 41 Ítem 4 Instrumento de Validación	97
Figura 42 Ítem 5 Instrumento de Validación	97
Figura 43 Ítem 6 Instrumento de Validación	98

Figura 44 Ítem 7 Instrumento de Validación	98
Figura 45 Ítem 8 Instrumento de Validación	99
Figura 46 Ítem 9 Instrumento de Validación	99
Figura 47 Ítem 10 Instrumento de Validación	100
Figura 48 Ítem 11 Instrumento de Validación	100
Figura 49 Ítem 12 Instrumento de Validación	101
Figura 50 Ítem 13 Instrumento de Validación	101
Figura 51 Ítem 14 Instrumento de Validación	102

Resumen

El siguiente trabajo de grado se presenta desde un enfoque de desarrollo tecnológico, que como licenciados en diseño tecnológico se pretende aportar nueva información en el ámbito de la tecnología en población con discapacidad visual. Es así como se diseña un dispositivo lector de billetes que permite facilitar la denominación del dinero en actividades de la vida diaria, funcional y de fácil portabilidad para las personas con discapacidad visual en Colombia, por ende, se hace una caracterización de la población que permite identificar los requerimientos funcionales de accesibilidad, usabilidad y arquitectura del dispositivo.

El planteamiento problema permite determinar la necesidad que tiene la población con discapacidad visual en identificar la denominación de los billetes colombianos en un menor tiempo en sus actividades de la vida diaria, también se identifica que en Colombia existe una investigación con relación al tema sin embargo este no es un dispositivo portable, de igual forma la existencia de aplicaciones para la lectura de los billetes pero que algunos requieren de pagos Premium para acceder a todos sus servicios. En la justificación se evidencia la importancia de diseñar el dispositivo que cumpla con los requerimientos funcionales y de accesibilidad y el impacto generado en la población con discapacidad visual.

De esta manera se plantea una pregunta problema, unos objetivos específicos y uno general que logren ser alcanzados a lo largo del proyecto. En el Marco de referencia se relacionan aspectos conceptuales empleados en la realización del proyecto que ayudan a contextualizar al lector respecto a la definición de dispositivo, componentes y características con las que cuenta, algunos términos que hacen referencia a la población involucrada y lo que es requerimientos y sus tipos.

Para el desarrollo del dispositivo se implementa la metodología de GRACE la cual establece cinco aspectos que se interrelacionan: gestión este aspecto consta de dos actividades, la primera planear en donde se plantean algunas preguntas que sirven para dar origen y orientar el desarrollo del proyecto y la segunda organizar que muestra cinco fases que se van a llevar a cabo durante el desarrollo del proyecto para dar una posible solución al problema; requerimientos en este aspecto se identifica las necesidades de los usuarios frente a la problemática para establecer características a tener en cuenta al momento desarrollar el prototipo lector de billetes y determinar los requerimientos funcionales con los que debe contar el dispositivo, con el fin de que la solución sea exitosa; arquitectura en este aspecto se relaciona el funcionamiento, consumo de energía, tiempo de uso, diagrama de conexión, Características del dispositivo, uso del dispositivo y los planos del diseño que sirvieron de base al momento de desarrollar y construir el dispositivo lector de billetes respondiendo a las necesidades de la población involucrada; construcción, Este aspecto tiene como objetivo materializar el modelo planteado de acuerdo con el análisis de las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto; evolución la cual corresponde al proceso de transformación del dispositivo a través del tiempo. Finalmente se cierra con los resultados, dando a conocer el desempeño de las pruebas piloto y de las entrevistas realizadas a las personas con discapacidad visual durante el desarrollo del proyecto, así como las conclusiones y recomendaciones que se observaron a lo largo del proyecto.

Planteamiento del problema

Alrededor de la población con discapacidad visual se identifica una serie de necesidades, sin embargo, nos centraremos en la necesidad que tienen para reconocer la denominación de los billetes colombianos en sus actividades de la vida diaria debido a que en muchas ocasiones no logran reconocer la denominación del billete ya sea por factores físicos del mismo o por el desconocimiento de herramientas que les puedan facilitar esta tarea por lo que recurren a pedir ayuda a personas a su alrededor o confiar en la honestidad de la persona que le está dando el billete.

Actualmente en Colombia circulan doce billetes diferentes: seis antiguos y seis nuevos, estos últimos se integraron en el año 2016 y fueron diseñados con diferentes dimensiones, con algunas franjas en relieve y números en braille para que las personas con discapacidad visual logran identificarlos, pero con la excesiva manipulación se va deteriorando el braille y la textura del billete, dificultando la identificación de este, y requiriendo apoyo de terceros para poder hacerlo.

El INCI junto con el Banco de la república desarrollaron una plantilla que permite identificar la denominación de los billetes colombianos por sus dimensiones, no obstante, no es tan reconocida por la población y tiende a deteriorarse por su material. En noticias El TIEMPO en el año 2008 en la universidad del Bosque surge la creación de un detector sonoro de billetes, diseñado como una herramienta de escritorio nombrado Debitatil que aún se encuentra en investigación para que logre ser un dispositivo portable.

Así mismo, se encuentra que existen una serie de aplicaciones para Android y IOS que puede ser descargadas al teléfono celular, sin embargo, suelen ser limitantes en algunas de sus funciones, ya que requieren de pagos premium para poder acceder a todos sus servicios.

Por otro lado, se encuentran investigaciones como la de Tamayo (2018, Colombia) quien crea un sistema de reconocimiento de billetes para personas con discapacidad visual mediante visión artificial. Tipán (2019, Ecuador) en su tesis de investigación creó un prototipo identificador de billetes, a través de una cámara conectada a la Raspberry pi la cual captura una imagen para procesarla dentro de una caja de madera. De las anteriores investigaciones se logra identificar que no son de fácil portabilidad debido a sus dimensiones, siendo este uno de los requerimientos principales dentro de las necesidades halladas en la población con discapacidad visual.

De igual forma Solano en su investigación, (2018, Ecuador) realiza la construcción de un dispositivo que captura la imagen del billete por medio de una cámara Raspberry pi, para luego hacer comparaciones con imágenes previamente guardadas e identificar la denominación, pese a esto tiene un alto costo de fabricación e incide en la adquisición del producto para la población.

Dicho lo anterior se logra analizar que aun con existencia de algunos dispositivos, aplicaciones y la plantilla INCI, predomina la necesidad de la creación de un prototipo de un material resistente, que sea portable, accesible y permita la independencia de la población con discapacidad visual al momento de identificar la denominación del billete, por tal razón surge la siguiente pregunta problema:

¿Cuáles son los requerimientos funcionales para el diseño de un dispositivo tecnológico que permita el reconocimiento de billetes nacionales para personas con discapacidad visual al momento de realizar actividades de la vida diaria que involucren el uso del dinero?

Objetivos

Objetivo General

- Determinar los requerimientos funcionales para el diseño de un dispositivo tecnológico, que permita el reconocimiento de los billetes nacionales a la población con discapacidad visual al momento de realizar actividades de la vida diaria.

Objetivos Específicos

- Categorizar los requerimientos funcionales para diseñar un dispositivo para el reconocimiento de los billetes nacionales.
- Modelar el prototipo funcional de acuerdo con los requerimientos funcionales establecidos para el reconocimiento de los billetes nacionales.
- Validar la funcionalidad del dispositivo tecnológico que permita el reconocimiento de los billetes nacionales en actividades de la vida diaria para la población con discapacidad visual.
- Modelar la portabilidad y accesibilidad del dispositivo tecnológico para el reconocimiento de billetes nacionales que permita realizar actividades diarias a personas con discapacidad visual.

Justificación

A raíz de las observaciones realizadas a estudiantes con discapacidad visual de la Universidad Pedagógica Nacional surge el planteamiento de diseñar un dispositivo lector de billetes, ya que en diferentes ocasiones requieren de apoyo de un tercero para realizarlo o de alguna aplicación, lo cual no siempre es accesible para toda la población. De acuerdo con ello se realiza una búsqueda sobre la existencia de dispositivos o aplicaciones que cumplan esta función, por lo que se determina que es necesario el diseño de un dispositivo portable y accesible, que tenga en cuenta las características de la población con discapacidad visual, ya

que al tener una discapacidad se afecta la condición de vida de la persona, limitando la realización de actividades de la vida diaria y la interacción con el mundo que lo rodea.

Por otra parte, se ve la necesidad de la creación de este dispositivo tecnológico ya que, según los análisis realizados durante la búsqueda de tesis, proyectos y demás arrojan como resultado que en Colombia aún no existe un dispositivo que sea portable.

Por tal razón este proyecto recolecta información de primera mano con ayuda de algunos estudiantes de la universidad pedagógica nacional con discapacidad visual y así se identifican y se determinan cuáles son los requerimientos funcionales con los que debe contar el dispositivo como la incorporación de señalética en braille, el tamaño, la forma, el tipo de vibración según la denominación del billete y el hardware.

De tal manera la importancia de este proyecto radica en aportar nueva información que puede servir de base a nuevos proyectos o investigaciones que busquen dar solución alrededor de esta misma temática y que por cuestiones de tiempo no se hayan podido solucionar en este proyecto. También busca un impacto positivo en la población con discapacidad visual al proporcionar nuevas tecnologías funcionales para uso en sus actividades diarias.

Antecedentes

Este apartado presenta algunas investigaciones a nivel nacional e internacional alrededor de dispositivos y aplicaciones existentes que cumplen la función de reconocer la denominación de los billetes para la población con discapacidad visual.

Sánchez (2016) en su tesis doctoral titulada Estado de la discapacidad y la dependencia en pacientes afiliados a la organización nacional de ciegos españoles presentada en la Universidad de Valencia, presenta en sus objetivos:

La descripción de la discapacidad de la población de estudio en cuanto a su nivel de salud, limitación para la realización de actividades básicas e instrumentales de la vida diaria y

severidad de esta limitación, así como su situación de dependencia y cómo la perciben los pacientes (p.87).

Para responder al objetivo, Sánchez (2016) “implementó el método estadístico en el cual se aplicaron técnicas de análisis descriptivos e inferencias estadística con el fin de determinar las características de los pacientes con distintos niveles de dificultad y expectativas de mejoría” (p.92). Al observar los resultados, Sánchez (2016) concluye:

Las actividades que mayor número de pacientes refieren no poder realizar sin algún tipo de ayuda, es decir, las que generan más dependencia, son las relacionadas con la visión, el uso del transporte público, el uso del teléfono, la realización de las compras, la movilidad fuera del hogar y el cruce de las calles. El grado de deficiencia visual y la sensibilidad al contraste están fuertemente asociados a la dificultad encontrada en estas y otras actividades de la vida diaria. (p.199-200).

La tesis doctoral de Sánchez brinda a este estudio, datos relevantes que nos permite justificar la importancia de investigar en pro de la población con discapacidad visual, favoreciendo el desarrollo de la autonomía al utilizar la ayuda que brinda el dispositivo tecnológico, lector de billetes, permitiendo mejorar la accesibilidad a actividades de la vida diaria, evidenciado en las conclusiones de la tesis doctoral donde se resalta la problemática al momento de realizar compras.

Solano en la tesis titulada; Diseño y construcción de un dispositivo portátil para la identificación de billetes orientado a personas con discapacidad visual mediante el uso de visión artificial, trabajo desarrollado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Ecuador, presenta en su objetivo, Solano (2018) “desarrollar un dispositivo portátil basado en visión artificial y procesamiento inteligente que permita la identificación de billetes orientado a personas con discapacidad visual” (p.3). Para ello, Solano (2018), implementa los métodos deductivo, heurístico y experimental.

El primero busca llegar a conclusiones particulares a partir de generalidades. El segundo identifica y presenta el problema de la clasificación de billetes y la diferenciación de denominaciones. El último presenta principalmente el desarrollo del procesamiento inteligente y pruebas de funcionamiento global del dispositivo (p.32).

De las conclusiones se resalta: el rango óptimo de distancia para el reconocimiento de la denominación del billete, la cual está entre 16 y 29 cm, además el tiempo de procesamiento desde la captura de la imagen hasta que emite su denominación es de 2,41 minutos (p.87).

La tesis de Solano brinda a este proyecto la manera de implementar algunos métodos de estudio para la obtención de datos, contribuyendo a tener mejor perspectiva dentro del contexto social.

Tamayo (2018). En su tesis titulada; Sistema de reconocimiento de billetes para personas con discapacidad visual mediante visión artificial, presentada en la Universidad EIA de Colombia. Presenta el objetivo “desarrollo de un sistema de reconocimiento de billetes para personas con discapacidad visual mediante visión artificial” (p19). En donde implementa la “metodología Ulrich proceso de estructuración y secuencia de Diseño que permite orientar el desarrollo del producto” (p54). Identificando que mediante la interacción de algoritmos de sistemas embebidos logra el reconocimiento de billetes utilizando cámara de altos píxeles.

La tesis de Tamayo aporta a este estudio datos importantes sobre la estructura del diseño conceptual otorgando un análisis inmediato a los requerimientos que tiene este tipo de población dentro del contexto sociocultural.

Zambrano, Daza, Pinargote y Lituma (2019). En su artículo titulado: Prototipo para orientación de personas con discapacidad visual mediante una aplicación para móvil, publicado en la revista Científica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Describe en su objetivo Zambrano et al. (2019) “el diseño y elaboración de un prototipo que, por medio de un algoritmo, se vincule con una aplicación para móvil (App) y permita la

orientación de personas con discapacidad visual” (p.247). en su investigación aplico técnicas de observación y entrevistas a personas con discapacidad visual. Al observar los resultados obtenidos Zambrano et al. (2019) concluye que:

Los dispositivos móviles resultan ser muy útiles y son de gran ayuda para personas con discapacidad visual, pero se requiere módulos sensoriales externos al teléfono para detectar obstáculos y encontrar una manera segura de transitar. Esta tecnología resulta ser factible debido al bajo costo y fácil uso ya que con muy poco entrenamiento se logró brindar ayuda a los usuarios no videntes. Las pruebas experimentales realizadas con el prototipo han demostrado su utilidad, pero también han revelado que se necesitan más pruebas para tener una mayor efectividad (p.255-256).

Este artículo brindo un gran aporte a nuestro proyecto, debido a que nos invita a utilizar diferentes métodos de recolección de datos por medio la observación y entrevistas con el objetivo de validar los requerimientos del dispositivo. Ratificando que los dispositivos tecnológicos son de gran ayuda para la población con discapacidad visual ya que responde a algunas de las necesidades más importantes en su vida diaria, gracias a su fácil manejo y bajo costo.

Muñoz (2012) En el capítulo titulado Las TIC y la discapacidad visual, del Centro de Investigación Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica (ONCE) trata de dar Muñoz (2012) “una panorámica de los productos que utilizan las personas con discapacidad visual para el acceso a la información digital en su vida laboral, estudios y actividades de su vida cotidiana” (p.293). Realiza un estudio en el cual brinda información acerca de los dispositivos existentes y el beneficio que representa cada una de estas ayudas para las personas con discapacidad visual al momento de hacer uso de ellas. Concluye que, en la actualidad la tecnología avanza y se difunde muy rápido, haciendo casi imposible el desarrollo de productos específicos para la población con discapacidad. (Muñoz, 2012)

El aporte que nos hace Muñoz con en el anterior capítulo determina la necesidad de uso de nuevos dispositivos inteligentes que permitan a la población con discapacidad visual tener una mejor accesibilidad al mundo tecnológico permitiendo desenvolverse con mayor facilidad en actividades de la vida diaria brindando autonomía dentro de una sociedad.

Camargo, González, Segura, Garay y Rincón (2017). En su artículo titulado Orientación de Pasajeros con Discapacidad Visual dentro del Sistema de Transporte Masivo Transmilenio, proponen la utilización de un dispositivo portátil de bajo costo con geolocalización satelital que busca mejorar la autonomía de desplazamiento dentro de este sistema de transporte. Camargo et al. (2017) realizaron la revisión de los desarrollos que hasta ahora se han hecho para mejorar el nivel de autonomía de las personas en condición de discapacidad visual.

Este artículo justifica la importancia de revisar proyectos relacionados con el desarrollo de dispositivos tecnológicos dirigidos a la población con discapacidad visual, los cuales pueden llegar a facilitar sus actividades de la vida diaria debido a su fácil portabilidad y bajo costo. Que en comparación con otros dispositivos como celulares resultan ser menos llamativos para los amigos de lo ajeno.

Esparza, Margain, Álvarez y Benítez (2018). En su artículo titulado Desarrollo y evaluación de un sistema interactivo para personas con discapacidad visual de la revista Tecnológicas. En su objetivo proponen que, mediante la construcción de un sistema para personas ciegas, Esparza et al. (2018) “permita conocer el grado de interactividad con dispositivos inteligentes, realizando pruebas para luego construir aplicaciones que puedan mejorar el grado del uso de las tecnologías (dispositivos móviles)” (p.150). Al observar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas Esparza et al. (2018) “concluyen que la aplicación desarrollada se encuentra en un nivel de interacción aceptable para los usuarios

ciegos, sin embargo, existen todavía aspectos a considerar para mejorar la calidad de la aplicación” (p.156).

Este artículo realiza un aporte a nuestra investigación debido a que nos brinda datos sobre las características que se deben tener en cuenta al momento de construir dispositivos y aplicaciones que puedan contribuir al desarrollo de actividades para personas con discapacidad visual.

López, Olmedo, Tadeu y Fernández (2019). En su artículo titulado Propuesta de las condiciones de las Aplicaciones móviles, para la construcción de un Entorno de Accesibilidad Personal para usuarios con discapacidad visual en las Smart Cities de la revista Aula abierta de la Universidad de Oviedo (España). Proponen que las condiciones para la creación de aplicaciones, tengan como objetivo López et al. (2019) “enfocarse en suprimir la brecha que existe entre la tecnología y la población con discapacidad visual” (p.194). Para ello la propuesta se realiza desde “una metodología observacional la cual la dividen en 2 etapas la primera muestreo y la segunda utilización de instrumentos” (López et al, 2019 , p.197). Concluye que:

“Cada vez que se piense en crear una aplicación móvil se tenga en cuenta la accesibilidad para todo tipo de población incluyendo a las personas con discapacidad visual” (López et al, 2019 , p.201).

El artículo anterior nos direcciona y nos brinda algunas pautas para tener en cuenta al momento de pensar en crear aplicaciones o dispositivos electrónicos teniendo en cuenta la accesibilidad que va a tener la población a quien va dirigida.

Peña y Hurtado (2017). En su tesis titulada Diseño e implementación de un aplicativo que reconozca el valor de los billetes para discapacitados visuales usando un Smartphone con sistema operativo Android de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Presentan en su objetivo Peña y Hurtado (2017) “el diseño y la implementación de un aplicativo que

reconozca el valor de los billetes para personas con discapacidad visual usando un Smartphone con Sistema Operativo Android” (p.3). Concluyen que:

La aplicación puede ser reproducida, mejorada y adaptada a las necesidades que se puedan dar, y se implementó en un teléfono celular inteligente para pruebas de laboratorio, aclarando que no se realizaron publicaciones de la aplicación en medios de distribución web porque no se cuenta con pruebas reales realizadas a personas con discapacidad visual (Peña y Hurtado, 2017, p.57).

El trabajo anterior realiza un aporte a nuestra investigación acerca de la importancia de realizar pruebas de interacción entre el dispositivo y el sujeto a quien va dirigido, para determinar la eficacia y la viabilidad de este tipo de dispositivos con el fin de obtener resultados que garanticen una posible solución a problemas cotidianos en personas con discapacidad visual.

Gayón (2017). En su tesis titulada Desarrollo de una aplicación para reconocimiento de billetes por medio de procesamiento de imágenes para personas con diversidad visual basada en tecnología Android” de la Universidad Libre sede Bosque Popular. Presenta en su objetivo Gayón (2017) “el desarrollo de una aplicación para reconocimiento de billetes por procesamiento de imágenes para personas con diversidad visual basada en tecnología Android” (p.3). Concluye que el prototipo inicial cumplió con sus expectativas, pero recomienda que el dispositivo sea ajeno a un teléfono celular. (Gayón, 2017)

Este trabajo justifica la importancia de desarrollar un dispositivo lector de billetes para personas con discapacidad visual que sea independiente a un teléfono móvil con el fin de brindar accesibilidad y seguridad al momento de manipular dinero en diferentes contextos.

Tipán (2019). En su tesis titulada Implementación de un dispositivo identificador de billetes para personas no videntes de la Escuela Politécnica Nacional de Quito. Presenta en su

objetivo Tipán (2019) “el desarrollo, implementación y funcionamiento de un prototipo, el cual se basa en la identificación de la denominación del billete a través de una cámara conectada a la Raspberry pi” (p.1). concluye que:

Para identificar objetos mediante visión artificial, se necesita crear un ambiente controlado entre la cámara de la Raspberry pi, la distancia de la misma hacia el punto donde se va a colocar el objeto, el tope y la fuente de iluminación constante para obtener un mejor enfoque del objeto y una captura de imagen clara (Tipán, 2019, p.45).

La tesis anterior brinda a este estudio, datos relevantes que debemos tener en cuenta al momento de desarrollar un dispositivo para el reconocimiento de billetes. Como la distancia entre el billete y el dispositivo y la iluminación artificial al momento de hacer el reconocimiento del dinero.

Mariche, Montero, Hernández y Gazga (2017). En su artículo titulado Aplicación basada en Android para identificar papel moneda mexicano de la revista Pistas Educativas de México, presentan en su objetivo Mariche et al. (2017) “el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles basados en el sistema operativo Android, la cual permite la identificación y contabilización de billetes mexicanos” (p.160). Concluye que:

El desempeño de la aplicación desarrollada al obtener un reconocimiento de 94%, resultó por el momento aceptable. Sin embargo, y con el fin de que esta aplicación resulte de utilidad a la población objetivo es conveniente seguir realizando mejoras con el fin de obtener una confiabilidad cercana al 100% (Mariche et al., 2017 pp.169-170).

El aporte que nos hace este artículo está orientado a que hay que realizar pruebas post, con el objetivo de obtener mejores resultados para poder hacer un acercamiento al 100% de confiabilidad, garantizando al usuario resultados efectivos al momento de utilizar el dispositivo.

Silveira C, Bertolini, Parreira, Silveira S, Ulbricht, Almeida, Geller y Ribeiro (2020) En su artículo titulado Money Identifier: Aplicativo identificador de cédulas para dispositivos móviles de Research, Society and Development, exponen en su objetivo Silveira C *et al* (2020) “brindar accesibilidad a las personas con discapacidad visual o visión reducida, para identificar dinero por medio de aplicaciones móviles” (p.2). Para responder al objetivo Silveira C *et al* (2020) “se realizó una encuesta con base a las necesidades de un estudiante ciego en el curso de sistemas de información de la UFSM” (p.6). Concluye que:

Aunque la aplicación se encuentra en su fase inicial de desarrollo busca proporcionar una manera simple y efectiva para que las personas con discapacidad visual manejen el dinero de manera más fácil y segura proporcionando mayor autonomía a los usuarios (Silveira *et al* p.10).

El artículo anterior brinda a este estudio la importancia de crear herramientas tecnológicas de fácil uso destinado a personas con discapacidad visual facilitando las tareas de su vida diaria frente al manejo del dinero.

Android y IOS ofrecen la aplicación de: CASH READER la cual identifica únicamente billetes de mil y dos mil pesos en su versión gratuita por el lapso de 14 días, sin embargo, al realizar la suscripción Premium está habilita la lectura de todas las denominaciones y MCT MONEY READER por Android la cual permite el acceso solo dos veces en modo gratuito.

Marco conceptual

En este apartado se muestran diferentes conceptos referenciales que se emplearon en la realización del proyecto, ayudando a contextualizar y a dar claridad sobre los componentes operacionales del dispositivo. Por lo que en primera instancia se busca que el lector comprenda la problemática desde una perspectiva conceptual, involucrando distintos factores que buscan dar solución a la misma. Algunos términos hacen referencia a la población

involucrada, a los requerimientos y sus tipos, y a todo lo relacionado con el manejo de los billetes para personas con discapacidad visual. A continuación, se exponen los términos más relevantes en este proyecto:

Dispositivo tecnológico.

Según Torres (2014) un dispositivo tecnológico es un objeto que reúne ciencia y tecnología que al ser utilizado por el hombre puede mejorar su calidad de vida dentro de una sociedad, este está conformado por varios elementos que actúan conjuntamente para obtener un resultado inmediato.

Dispositivo lector.

Es una herramienta que permite la lectura completa o parcial de un objeto por medio de audio, sonidos, luz entre otros facilitando el acceso al mundo exterior y tecnológico.

Reconocimiento de billetes.

Es la capacidad de visualización necesaria para verificar correctamente los elementos de seguridad de los billetes.

Billete.

“Un billete o papel moneda es aquel papel impreso que representa un valor monetario de carácter fiduciario. Sustituye y compatibiliza con la moneda metálica, la cual también representa un valor fiduciario” (Pedrosa, s.f.).

Según el Banco de la República de Colombia actualmente circulan dos familias de billetes, cada una compuesta por 6 billetes de diferente denominación, y sus características se pueden encontrar en las tablas 1 y 2. Para la investigación se tiene en cuenta la familia de billetes nuevos debido a su alta circulación en todo el país. Estos billetes a diferencia de los billetes antiguos cuentan con diferentes tamaños y sus medidas se tuvieron en cuenta al momento de diseñar la carcasa del prototipo del dispositivo lector de billetes. Por otra parte, en cada uno de los billetes predomina un color y es por esta razón que el censado del billete

se puede realizar por medio de un sensor de color (RGB TCS34725) el cual emite un dato al procesador (Arduino nano) y este a su vez envía una señal al micromotor vibrador (1027).

Tabla 1

Familia de Billetes Antiguos

Denominación	Año de circulación	Dimensiones
Billete de mil pesos (\$1000)	2006	70mm x 140mm
Billete de dos mil pesos (\$2000)	2006	70mm x 140mm
Billete de cinco mil pesos (\$5000)	1995	70mm x 140mm
Billete de diez mil pesos (\$10.000)	1995	70mm x 140mm
Billete de veinte mil pesos (\$20.000)	1996	70mm x 140mm
Billete de cincuenta mil pesos (\$50.000)	2000	70mm x 140mm.

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Tabla 2

Familia de Billetes Nuevos

Denominación	Año de circulación	Dimensiones
Billete de Dos mil pesos (\$2000)	2016	66mm x 128mm
Billete de Cinco mil pesos	2016	66mm x 133mm

(\$5000)		
Billete de Diez mil pesos	2016	66mm x 138mm
(\$10.000)		
Billete de Veinte mil pesos	2016	66mm x 143mm
(\$20.000)		
Billete de Cincuenta mil pesos	2016	66mm x 148mm.
(\$50.000)		
Billete de Cien mil pesos	2016	66mm x 153mm.
(\$100.000)		

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Discapacidad visual.

Cuando se habla de discapacidad visual se utilizan diferentes términos, tales como: déficit visual, visión subnormal, baja visión, limitaciones visuales, ceguera, débiles de visión, entre otros. La discapacidad visual es una anomalía o dificultad del ojo o los ojos, de sus estructuras que trae como consecuencia una visión menor de la normal y precisa en ocasiones medios de ayuda para la interacción entre las personas que tienen discapacidad visual y su medio circundante. ((ONCE), 2011, pág. 79).

Según Arias (2010). Este tipo de discapacidad se clasifica en dos grados dependiendo del tipo de enfermedad visual: ceguera y baja visión. Esta última se categoriza en tres niveles (baja visión leve, baja visión moderada y baja visión severa).

Ceguera.

Describe al tipo de individuo que presenta pérdida total de la visión, ya sea congénita o adquirida en el transcurso del tiempo.

Baja visión leve.

Presenta un grado de pérdida menor, sin dificultar la realización de actividades cotidianas siempre y cuando se utilicen ayudas ópticas.

Baja visión moderada.

Se presenta como un tipo de visión media, es decir que se deben utilizar obligatoriamente ayudas ópticas como lupas para facilitar la percepción de los detalles y color de los objetos.

Baja visión severa.

Este es el nivel crónico de la baja visión, debido a que es necesario la utilización de ayudas como el bastón para movilizarse de un lugar a otro y el braille para la lectura y la escritura. Cabe resaltar que en este nivel de baja visión las personas pueden percibir luz y sombras.

Reconocimiento objetos personas con discapacidad visual.

Cuando una persona no cuenta con la capacidad visual para reconocer algún objeto adquiere y desarrolla una eficiencia superior por el tacto sobre todo en sus manos debido a que reconoce y maneja su entorno por este medio constituyendo la base principal de su relación cognoscitiva con el mundo y con los objetos que lo integran (Collado et al.,2007). Por tal motivo el reconocimiento de los billetes es un limitante ya que estos no cuentan con buena textura que permita su fácil reconocimiento siendo esto una problemática en gran parte de la población con discapacidad visual.

Actividades diarias.

Según Romero (2007). Las actividades de la vida diaria son las actividades mas frecuentes que realiza una persona y se relacionan con las necesidades humanas, independencia y uso del tiempo. Y basandonos en lo anterior las personas con discapacidad visual al momento de realizar alguna actividad de su diario vivir que involucren el uso del

dinero en muchas ocasiones se ven en la obligación de acudir por ayuda a terceros, por ejemplo una persona con discapacidad visual al acudir a una tienda a comprar algún producto y en el momento de pagar o recibir el cambio se ve en la necesidad de que la persona que lo está atendiendo le verifique con qué billete le está pagando y también el cambio que le va a devolver por lo que en ese momento la persona con discapacidad visual no está siendo del todo independiente ya que está dependiendo del vendedor es por este motivo que el dispositivo lector de billete le puede llegar a permitir a esta persona con discapacidad visual mejorar su interacción al momento de realizar este tipo de actividades dado que en el instante que va a pagar puede reconocer por medio del dispositivo cuál es la denominación del billete con el cual va a pagar y puede verificar también los billetes que le dan de cambio por su compra.

Accesibilidad.

Posibilita a una persona con o sin discapacidad para entender el espacio e integrarse y poder interactuar en él. (Guerrero, Rodríguez, & Romero, 2018)

Autonomía.

Es la capacidad de decidir por sí mismo, permitiéndole al sujeto tomar postura frente a determinadas situaciones que se presentan a su alrededor asumiendo así, las responsabilidades que estas conllevan.

En las personas con discapacidad visual se ve afectada su autonomía por las diversas enfermedades que presenta ya sean degenerativas, adquiridas o parciales dificultando la orientación y movilidad, de igual forma se ve afectada su autoestima puesto que cambia su estilo de vida y sus relaciones sociales, “Si la discapacidad se produce en los años posteriores, el desarrollo de la autonomía y las habilidades para relacionarse pueden estar afectados por la falta de control visual.” (ONCE, 2011, pág. 104).

Requerimiento.

Según Sommerville (2005) un requerimiento es una descripción de los servicios proporcionados por el sistema y sus restricciones operativas y se clasifica en requerimiento de usuario y requerimiento de sistema.

Requerimiento de usuario.

Son declaraciones de los servicios que se espera que el sistema proporcione y de las restricciones que van a tener los usuarios.

Requerimiento de sistema.

Establece con detalles funciones, servicios y restricciones de la operatividad del sistema.

Requerimiento funcional.

Según Business Analysis Body of Knowledge (BABOK) en su versión 3, define un requerimiento funcional como la descripción explícita del comportamiento que debe tener una solución de software de la información que debe manejar.

Por lo tanto, los requerimientos funcionales:

- Expresan las capacidades o cualidades que debe tener la solución para satisfacer los requerimientos de los interesados del proyecto.
- Se expresan en términos de cuál debe ser el comportamiento de la solución y que información debe manejar.
- Deben proporcionar una descripción lo suficientemente detallada para permitir el desarrollo e implementación de la solución.
- Son los que más influyen en si la solución será aceptada o no por los usuarios.

Hardware prototipo lector de billetes.

A continuación, se describen los componentes electrónicos que se emplearon al momento de desarrollar este prototipo lector de billetes para personas con discapacidad visual.

Arduino Nano.

Es una pequeña y completa placa basada en el Atmega 328 a la cual se le pueden conectar varios tipos de sensores según el requerimiento. No posee conector para alimentación externa y funciona con un cable USB mini-B. Cuenta con una tensión de operación de 5v y una tensión de entrada de 7 a 12 voltios con un máximo de 20 voltios. Está compuesto por 22 pines, 14 digitales(E/S) de los cuales 6 proveen salida PWM y 8 Entradas analógicas. (arduino.co, s.f.).

El Arduino nano tiene un tamaño pequeño a comparación del Arduino UNO, gracias a esto es de mayor utilidad para la construcción del prototipo lector de Billetes. Sus dimensiones son 18,5x43,2 mm. Y su consumo energético es de 40 miliamperios (mA).

Batería 16340.

Es un dispositivo diseñado para almacenar energía eléctrica, es usado en aparatos electrónicos como ordenadores portátiles y lectores de música. Su referencia es 16340 (sus dos primeros números corresponden al diámetro y los siguientes a la longitud en milímetros), es una batería recargable con un voltaje de 3.7V y una capacidad de corriente de 2300 mA.

Micromotor vibrador redondo 1027.

Es un motor que conduce alta velocidad giratoria excéntrica produciendo vibración, se utiliza en teléfonos, equipos de masaje de vibración, relojes electrónicos, juguetes inteligentes y otros campos. Su capacidad de corriente es de 2300 mA y su voltaje es de 1.5V. Es un micromotor debido a sus dimensiones (10 mm x 2.7 mm). Cuenta con una velocidad de 4000 RPM. (Vistrónica, s.f.)

Módulo Sensor de color TCS34725.

Es un sensor de color digital que se puede emplear con un procesador como Arduino para obtener los valores RGB de un objeto o luz, es un integrado completo que realiza un tratamiento digital de la medición de color, proporcionando los valores RGB y clear. Su voltaje de alimentación es de 3 a 5 voltios, La interface de comunicación es de I2C en un rango dinámico de 3'800.000:1 y su consumo energético es de 20 mA. (plugandplay, s.f.)

Módulo TP4056.

Es un minúsculo módulo perfecto para la carga de baterías de litio de una sola celda de 3.7V a 1A que incluye un circuito de protección para que las baterías no reciban ningún daño. Su método de carga lineal es del 1%. Tiene una exactitud de carga del 1.5% con un voltaje de entrada de 4.5V – 5.5V. Integra un indicador led que permite visualizar el estado de carga de la batería (Rojo está cargando, azul carga completa). Su interfaz de entrada en Micro/mini USB y sus dimensiones corresponden a 25x17x10 mm. (SandoRobotics, s.f.)

Filamento PLA.

El filamento PLA es mayormente conocido por su facilidad de impresión, lo que lo hace uno de los primeros materiales con los que los consumidores empiezan a imprimir en 3d. Se puede extruir a temperaturas más bajas que el ABS y no se deforma con facilidad. La temperatura de impresión es de 190° C – 220° C. La materia prima destacable del PLA es el maíz (material ecológico). (Impresoras3d.com, 2018)

RGB

El termino RGB está compuesto por las siglas “Red”, “Green” y Blue”, es decir que se trata de un modelo cromático en donde se representan distintos colores a partir de la mezcla del rojo, verde y azul. (Castillo, 2019)

Software.

En este apartado se relaciona el software utilizado y empleado para el desarrollo del prototipo lector de billetes para personas con discapacidad visual.

Arduino.

Debido a que Arduino es una plataforma libre y de código abierto resulta ser una herramienta practica para el desarrollo de artefactos tecnológicos de fácil acceso, convirtiéndose en una posible solución a algunos problemas o necesidades cotidianas.

Según González Redondo & García de la Fuente, el IDE (Integrated Development Environment, Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino es una aplicación que contiene un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware. El software Arduino (IDE) específico para escribir programas y cargarlos en la placa, está disponible en la página oficial de Arduino y existen dos posibles opciones, una versión online y una aplicación descargable.

Metodología

El presente estudio se centra en la elaboración de un prototipo tecnológico por lo cual la metodología implementada corresponde a la metodología GRACE y está compuesta por 5 aspectos los cuales son: Gestión, Requerimientos, Arquitectura, Construcción y Evolución. Esta metodología está construida con un propósito didáctico facilitando la identificación de problemas y la comprensión de los procesos involucrados en la solución de estos, puede ser utilizada en el desarrollo de proyectos de cualquier especialidad. Fue construida por los autores Rafael J. Barros, Gerardo Duque Gutiérrez, John Alexander Rojas Montero, Luz Marina Sanchez Ayala y José Divitt Velosa García.

Para facilitar el proceso de aprendizaje la metodología define aspectos que identifican diferentes actividades que se pueden desarrollar de una manera no secuencial con el fin de buscar dar solución a una problemática. a continuación, se explica cada uno de los aspectos.

En primera instancia, la metodología brinda un proceso en donde se observa y se establece el problema, este proceso consiste en identificar, contrastar, formular, evaluar y socializar el problema.

El primer aspecto corresponde a la Gestión la cual desarrolla cuatro actividades: planear, organizar, coordinar y orientar. Este aspecto sirve como guía para coordinar las actividades que se van a llevar a cabo y así poder conseguir los resultados esperados. Planear corresponde a realizar los preparativos del proyecto, organizar pone a disposición el cómo se realizará el proyecto, coordinar mantiene compatible la ejecución de lo planeado y lo organizado y orientar trabajo con el talento humano y pretende fortalecer las habilidades para así optimizar un buen desempeño.

El segundo aspecto corresponde a los Requerimientos los cuales plantean descubrir el propósito del proyecto a partir de unas características que satisfagan la idea principal o el objetivo principal del proyecto, consta de 4 actividades: identificar necesidades, construir requerimientos bien formados, organizar requerimientos y negociar requerimientos. Este aspecto es quien profundiza sobre las características que se deben tener en cuenta para la solución del problema. La primera actividad (identificar necesidades) busca la información necesaria que permita aclarar las condiciones establecidas del problema, la segunda actividad (construir requerimientos) busca darle un propósito y sentido a la información recolectada en el proceso de identificación, la tercer actividad (organizar requerimientos) tiene como objetivo ordenar y escribir los requerimientos para categorizarlos, e identificarlos y así poder controlarlos, la cuarta y última actividad (negociar requerimientos) pretende acordar entre las partes involucradas en el proyecto los tiempos y costos y así fijar compromisos.

El tercer aspecto corresponde a la Arquitectura en donde se aplican técnicas y principios científicos con el objetivo de definir un dispositivo, un proceso, un servicio o un sistema. En este aspecto se relacionan cuatro actividades: idear, diseñar, evaluar y aprobar. La primera actividad (idear) se establecen posibles soluciones al problema, la segunda actividad (diseñar) se busca sintetizar e integrar un modelo de solución, la tercera actividad (evaluar) se mide la viabilidad para la construcción del diseño y la cuarta actividad (aprobar) coordina con los involucrados los compromisos adquiridos.

El cuarto aspecto corresponde a la construcción y es donde se establece como hacer realidad el modelo. En este aspecto es donde se realiza el proceso de fabricación, manufactura o ejecución de la solución al problema y consta de cuatro actividades: diseñar el proceso, organizar el proceso, fabricar el producto y aprobar el producto.

En la actividad de Diseñar el proceso se busca describir la forma de cómo se van a integrar los elementos para hacer realidad el modelo. En la actividad de organizar el proceso se detallan las operaciones de la elaboración de la solución. En la actividad fabricar el producto se ejecuta el proceso de construcción y en la actividad de aprobar el producto se manifiesta la satisfacción de la solución terminada por parte de los involucrados en el proyecto.

En el quinto aspecto se presenta la evolución, el cual se centra en el cambio gradual del sistema durante el tiempo, en este aspecto se define la continuidad de transformación que hace sostenible un sistema y consta de cuatro actividades: prevenir, ajustar, predecir e innovar. La primera actividad (prevenir) busca evitar que la solución se deteriore con el paso del tiempo, la segunda actividad (ajustar) busca realizar pequeños cambios en la solución corrigiendo fallas y realizando mejoras, la tercera actividad (predecir) anuncia o revela algo que podría sucederle a la solución en un futuro y en la cuarta y última actividad (innovar)

busca modificar la solución para tener un desempeño más óptimo y añadir nuevas funciones a la solución.

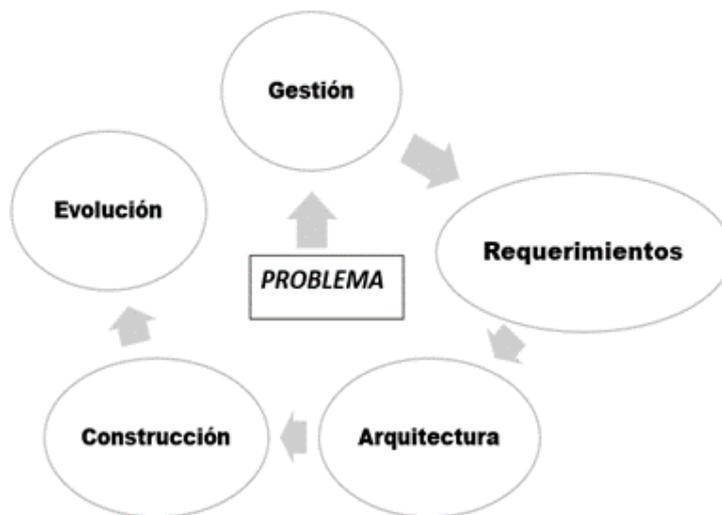
En apartado metodología de desarrollo del prototipo del dispositivo se explica cómo se desarrolló el proyecto basado en la metodología descrita anteriormente (GRACE) la cual especifica cada uno de sus aspectos. La Gestión nos permitió planear las actividades que se llevarían a cabo durante la realización del proyecto teniendo como objetivo principal obtener mejores resultados en el desarrollo del mismo. También nos permitió organizar la información mediante seis fases en donde se identifica el problema, se recolectan datos y se comienzan a realizar los primeros modelos con el fin de construir un modelo final, posterior a ello se realiza una evaluación del diseño para luego concluir y retroalimentar. Los Requerimientos nos permitieron identificar los requerimientos funcionales con los que debe contar el dispositivo lector de billetes para responder a las necesidades de los usuarios frente a la problemática, en la Arquitectura relacionamos todos los componentes del dispositivo lector de billetes, su funcionamiento, consumo de energía, diagrama de conexiones, sus características, uso y planos del diseño final. El aspecto de Construcción nos permitió planificar y programar tareas a lo largo de un periodo de tiempo, estableciendo un cronograma de actividades con permanentes controles logrando un proceso de calidad que nos permitió tener éxito al momento de la fabricación del dispositivo. Y la Evolución nos ofreció recomendaciones sobre la prevención del buen uso del dispositivo, también nos permitió realizar algunos cambios con el fin de mejorar y corregir fallas en su funcionamiento.

Metodología de desarrollo del prototipo del dispositivo

Esta metodología es elegida de acuerdo con las características (aspectos) que posee, ayudando a realizar un proceso más detallado en la construcción y desarrollo de un prototipo funcional que responda al objetivo principal del proyecto. Cabe mencionar que la

metodología GRACE no se relaciona con procesos de investigación dentro de este documento.

La metodología cuenta con 5 aspectos fundamentales ver figura 1, la gestión, los requerimientos, la arquitectura, la construcción y la evolución, los cuales fueron desarrollados para llevar el presente trabajo de grado desde la planificación hasta la evolución del prototipo funcional, a continuación, se presenta el desarrollo de cada aspecto.



Aspecto 1: Gestión.

En el aspecto de gestión, la consulta dio origen a la planeación de cada una de las actividades para cumplir el objetivo planteado y organizar cada uno de los procesos que se llevan a cabo.

A continuación, se relacionan algunos ítems involucrados en la gestión.

Planear.

Preguntas relevantes que dan origen y desarrollo al proyecto.

Tabla 3

En Base a la Planeación

Pregunta	Respuesta
----------	-----------

¿Qué se debe hacer?	Construir un prototipo lector que permita identificar la denominación de billetes colombianos a personas con discapacidad visual.
¿Quién lo debe hacer?	Será fabricado por el grupo que integra el proyecto.
¿Cuándo lo debe hacer?	Se comenzó a trabajar en modelos al iniciar el trabajo de grado.
¿Cómo lo debe hacer?	Según investigaciones consultadas se concluye que debe ser un dispositivo portable, el cual permita ser utilizado en cualquier lugar.
¿Dónde lo debe hacer?	Existen varios puntos de venta de los elementos electrónicos que serán utilizados para la construcción del dispositivo, el cual se va a ensamblar en el taller de la universidad o cualquier predio.
¿Por qué lo debe hacer?	Según los antecedentes encontrados, se evidencia que la población con discapacidad visual necesita este tipo de dispositivos para el manejo del dinero sin ayuda de terceros.

Fuente: Elaboración propia, preguntas claves en planear, metodología GRACE.

Organizar.

En este apartado se estructura las fases que se llevarán a cabo durante el desarrollo del proyecto como se puede apreciar en la figura 2.

Fase 1: Identificación del problema.

En primera instancia se identificó un grupo de ocho personas con discapacidad visual



de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá, logrando el acercamiento y el diálogo con ellos, se practicaron algunas preguntas que evidenciaron los problemas más comunes en medio de su discapacidad al momento de realizar actividades de la vida diaria. Los resultados arrojaron que la dificultad más frecuente es al momento de reconocer la denominación de los billetes, debido a que algunos necesitan la ayuda de terceros para poder hacer dicho reconocimiento. También se dificulta a causa de que no cuentan con recursos para acceder a

Figura 2

Estructura Organizacional del Proyecto

un teléfono por su alto costo que les pueda facilitar el uso de aplicaciones que permitan realizar la lectura del billete.

Fase 2: Recolección de datos.

Para la recolección de datos se realizó una encuesta semi estructurada a dieciséis personas con discapacidad visual. Esta está conformada por preguntas abiertas las cuales

permiten que los sujetos den a conocer sus experiencias personales y las preguntas cerradas con argumento dirigidas a una respuesta del sí y el no. (Ver anexo A)

El objetivo es recolectar información con base a la experiencia de las personas ciegas entorno a la identificación de la denominación de los billetes colombianos.

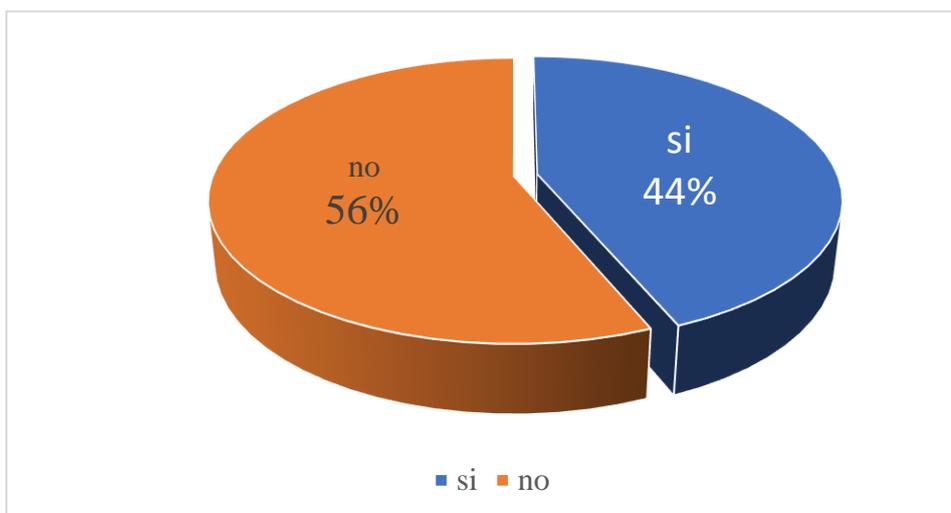
Resultados de encuesta.

A continuación, se encuentran las respuestas de la encuesta realizada a 16 personas con discapacidad visual, la cual se llevó a cabo por medio virtual (Formulario de Google).

1. ¿Se le facilita reconocer billetes? ¿sí?, ¿no? Explique.

Figura 3

Resultados de la Pregunta 1



De las 16 personas encuestadas el 44% respondieron que sí se les facilita reconocer billetes y el 56% no se les facilita reconocer los billetes debido a las siguientes observaciones:

- Renovación de billetes
- No tienen braille
- La textura es muy similar en todos los billetes
- Billetes con mucha manipulación

- El braille que tiene los billetes se borra muy rápido al igual que el braille de la plantilla del INCI

2. ¿Qué consideraciones tendría usted a la hora de identificar un billete?

Según las personas encuestadas las consideraciones a tener en cuenta para reconocer un billete son: La textura, el tamaño y el grosor del papel. Para las personas con baja visión el color es un aspecto fundamental.

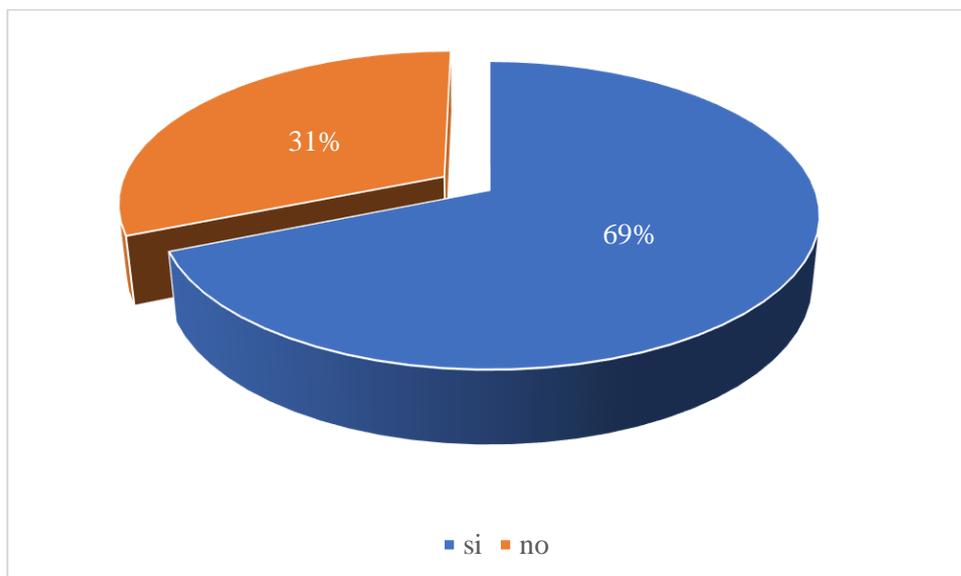
3. ¿De qué manera usted puede diferenciar la denominación de los billetes?

La mayoría de los encuestados diferencian la denominación de los billetes por su tamaño y el braille que tienen (En el caso de los billetes nuevos es más fácil su reconocimiento debido a que el relieve del braille se encuentra en perfecto estado). Para los demás encuestados el reconocimiento de la denominación de los billetes solo se logra al preguntar a una persona vidente.

4. ¿Ha sido objeto de algún engaño frente a billetes falsos?

Figura 4

Respuestas de la Pregunta 4



Un 69% han sido víctimas de engaño, debido a su discapacidad y el 31% no han sido víctimas frente a este tipo de estafa.

5. ¿De qué manera realiza el reconocimiento de este tipo de billete?

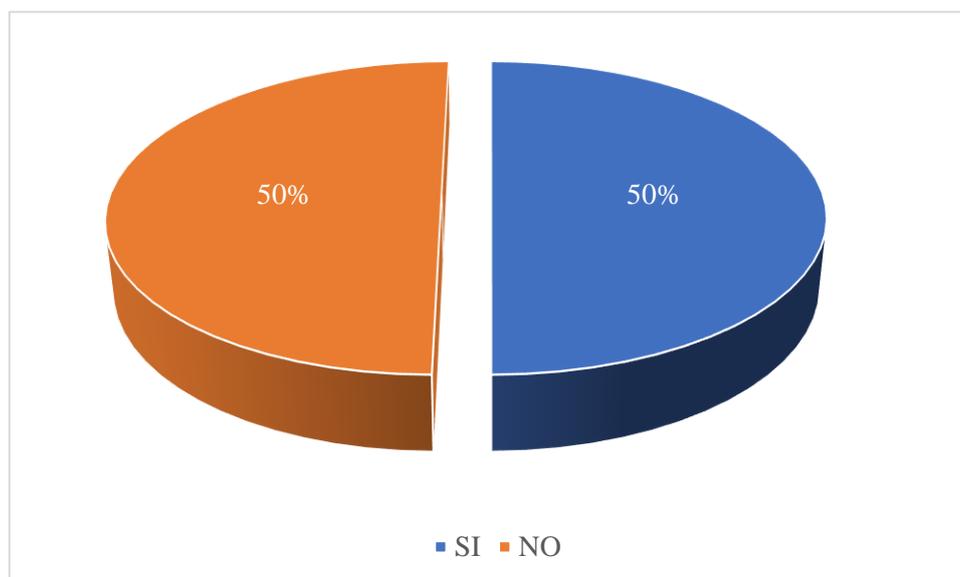
Las personas encuestadas manifiestan que es muy difícil hacer este tipo de reconocimiento y en muchas ocasiones se ven obligados a preguntar a personas videntes por la autenticidad del billete.

6. ¿Conoce alguna aplicación o dispositivo que permita la identificación de billetes?

¿Si su respuesta es sí ¿Cuál o cuáles conoce?

Figura 5

Respuestas de la Pregunta 6

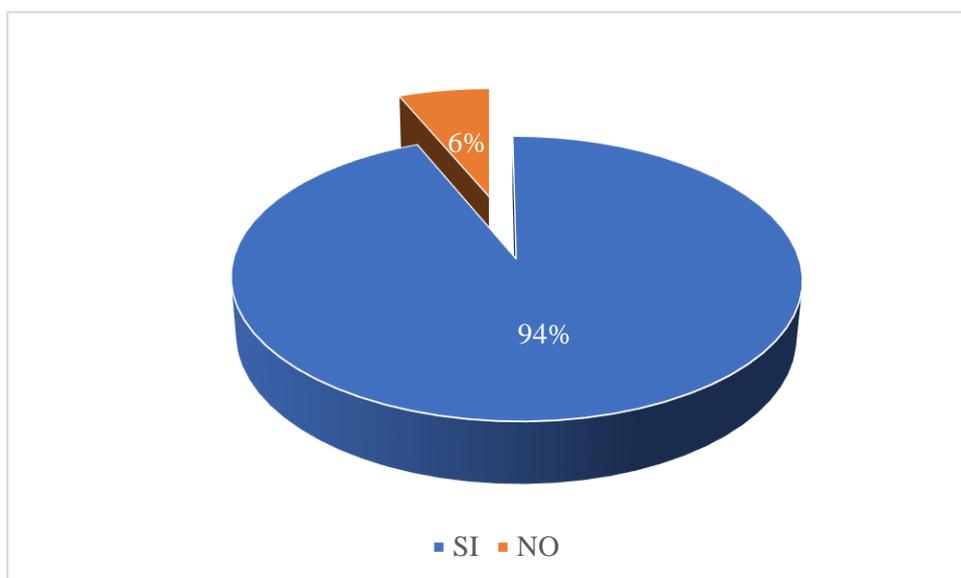


Solo el 50% de las personas encuestadas conocen aplicaciones como Cash Reader, Money Reader y dispositivos como cajas registradoras. No obstante, poco utilizan las aplicaciones debido a su versión Premium (Paga).

7. ¿Encuentra necesario la creación de un dispositivo para reconocer los billetes? ¿sí? ¿no? Si su respuesta es no explique él porque

Figura 6

Respuestas de la Pregunta 7



El 94% afirmaron que es necesario e indispensable la creación de un dispositivo que sea portable y de bajo costo que les permita hacer el reconocimiento de los billetes para facilitar la realización de actividades diarias. El 6% no ve la necesidad de la creación de un dispositivo que reconozca la denominación de billetes porque ya existen Apps con esta opción

8. ¿Cree que se deben desarrollar más proyectos tecnológicos enfocados al reconocimiento de billetes?

Según los resultados arrojados en la encuesta, el 100% de las personas están de acuerdo con el desarrollo de dispositivos de este tipo, porque gracias a estos podrían generar una mayor probabilidad de reconocer los billetes al momento de efectuar una compra sin la compañía de personas videntes. También resaltan que estos proyectos son importantes e incentivan la inclusión.

En la anterior encuesta se evidencia que la mayoría de las personas encuestadas no logran identificar la denominación de los billetes debido a los factores nombrados en el análisis de la pregunta 1 y debido a esto muchos han sido objeto de estafas. En algunos casos

tampoco conocen aplicaciones o dispositivos que sirvan para el reconocimiento de la denominación de los billetes.

Fase 3: Etapa de diseño.

En esta fase se realizan pruebas de campo a once personas con discapacidad visual con edades entre 18 y 29 años, el objetivo en primer momento es determinar la forma y tamaño ergonómico del dispositivo por ende se llevaron varias muestras para que estos pudieran interactuar y al finalizar contar su experiencia.

A continuación, se muestran los 7 modelos del dispositivo que se construyeron para que los usuarios puedan percibir diferentes formas y tamaños y así poder llevar a cabo la realización del modelo del dispositivo final.

Tabla 4

Modelos Empleados para pruebas base del diseño de prototipo

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN DEL MODELO
Modelo 1 Material: Dimensiones: 60x30x75	
Modelo 2 Material: Dimensiones: 70x30x100	

Modelo 3

Material:

Dimensiones:

45x280x105



Modelo 4

Material:

Dimensiones:

44x16x68



Modelo 5

Material:

Dimensiones:

40x30x80



Modelo 6

Material:

Dimensiones:

40x20x100



Modelo 7

Material:

Dimensiones:

56x24x114



Fuente: Elaboración propia modelos que sirvieron para determinar forma y tamaño del prototipo final lector de billetes.

La figura 7 muestra las respuestas obtenidas por cada uno de los participantes con respecto a su experiencia al momento de manipular cada uno de los modelos, algunos eligieron más de un modelo, ejemplo: JUAN eligió el modelo 3 y 6 (3; 6).

Figura 7

Formato Pruebas de Modelos Dispositivo

NOMBRE	LUIS	HOLMAN	JEISON	JORGE	JHOANA		
FORMA	1	1	1	1; 5	1		
TAMAÑO	1	1	1	1; 5	1		
UBICACIÓN BOTONES	costado superior del dispositivo	costado superior del dispositivo	costado del dispositivo	posterior baja	costado superior del dispositivo		
FUNCIONAMIENTO CARACTERÍSTICAS	POR MEDIO DE UN SENSADO, PERMITE RECONOCER LA DENOMINACIÓN DE BILLETES, A TRAVÉS DE PULSACIONES, SONIDO, AURICULARES						
OBSERVACIONES	Precio accesible	Incorporar altavoz	Tenga buena vida útil	Reconocer monedas	Contraste de color y no sea desechable		
CONDICIONES (MEDIDAS EN MM) MÍNIMAS DE DISEÑO DE DISPOSITIVO	DEBE MEDIR 80 MM DE LONGITUD POR UN COSTADO, 20 MM DE ALTURA, LA MEDIDA DE ANCHURA VARÍA						
FORMA DISPOSITIVO	1	2	3	4	5	6	7
DIMENSIONES DE MODELOS (MM)	60 X 30 X 75	70 X 30 X 100	45 X 280 X 105	44 X 16 X 68	40 X 30 X 80	40 X 20 X 100	56 X 24 X 114

Nota . Formato para pruebas a personas con discapacidad visual para determinar características del prototipo lector de billetes.

La figura 8 refleja el análisis de las respuestas obtenidas a partir de cada uno de los modelos en cuanto a su forma y tamaño. Los resultados del análisis se dan a partir del conteo general en cuanto a la elección de cada modelo. Ejemplo: El modelo 1 fue elegido por nueve (9,00) personas invidentes.

Figura 8

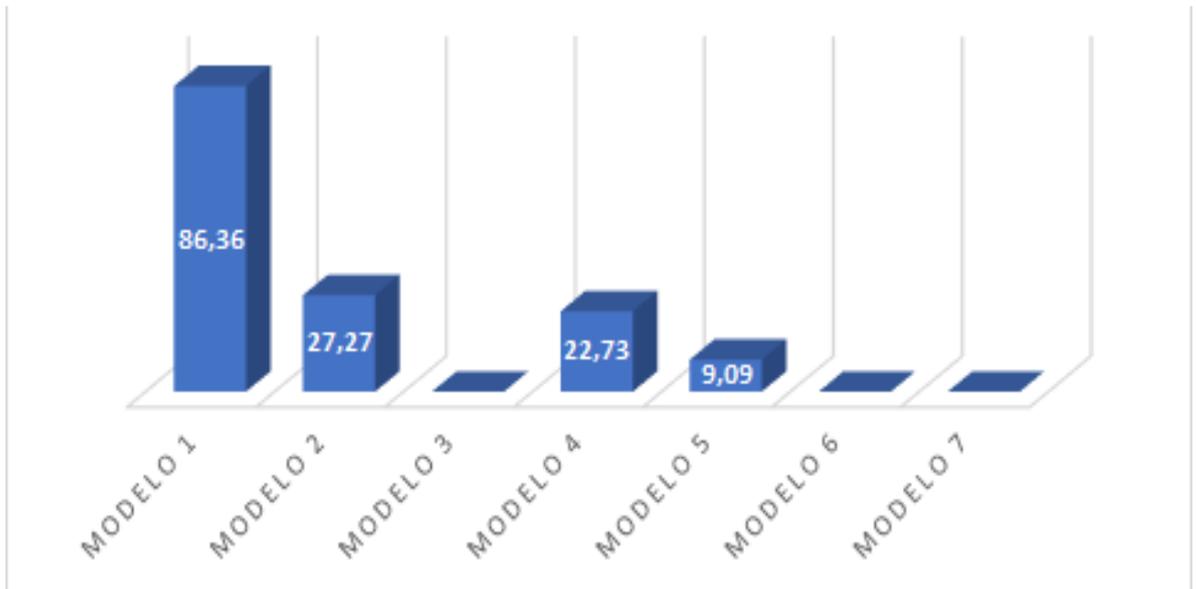
Análisis de Resultados de Modelos

	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4	MODELO 5	MODELO 6	MODELO 7
FORMA	9,00	6,00	-	2,00	1,00	-	-
PORCENTAJE DE FORMA	81,82	54,55	-	18,18	9,09	-	-
TAMAÑO	10,00	-	-	3,00	1,00	-	-
PORCENTAJE DE TAMAÑO	90,91	-	-	27,27	9,09	-	-
						-	-
						-	-
PORCENTAJE TOTAL	86,36	27,27	-	22,73	9,09	-	-

En la figura 9 se observa que de los 11 participantes el 86.36% eligieron el modelo 1 por su facilidad de manipulación y por sus dimensiones, con un 27.27% el modelo 2 por su adaptación a los contornos de la mano, el modelo 4 con un 22.73% debido a su tamaño y fácil portabilidad, el modelo 5 con un 9,09% por su adaptación con los dedos de las manos. Los modelos restantes no obtuvieron votos.

Figura 9

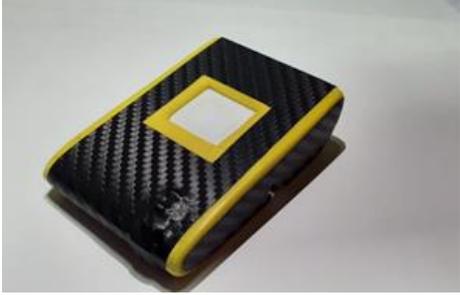
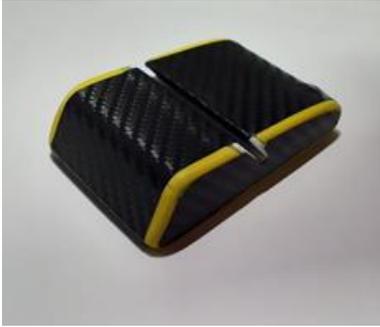
Porcentaje Total de Tamaño y Forma de los Modelos



Al hacer un análisis de estos resultados se tomaron algunas de las características más relevantes de los modelos 1,2,4 y 5 y se elaboró el siguiente modelo (Tabla 5), en donde se describe el modelo final según el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas de campo realizado a 11 personas con discapacidad visual. Las dimensiones del modelo surgieron a partir de la experimentación de los modelos anteriores por parte de los participantes, y gracias a la observación se le incorpora una nueva versión basada en la plantilla del INCI para tener un respaldo al momento de realizar la lectura del billete.

Tabla 5

Diseño del Modelo Resultante

Modelo 8	
Características	
Tamaño:60x30x75	
A este modelo se le adapta la plantilla de INCI.	

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Fase 4: Etapa de construcción.

En primera instancia se utiliza el programa SolidWorks para realizar el modelado de cada uno de los componentes electrónicos que hacen parte del circuito funcional. Teniendo en cuenta la ubicación dentro del modelo resultante (modelo 8).

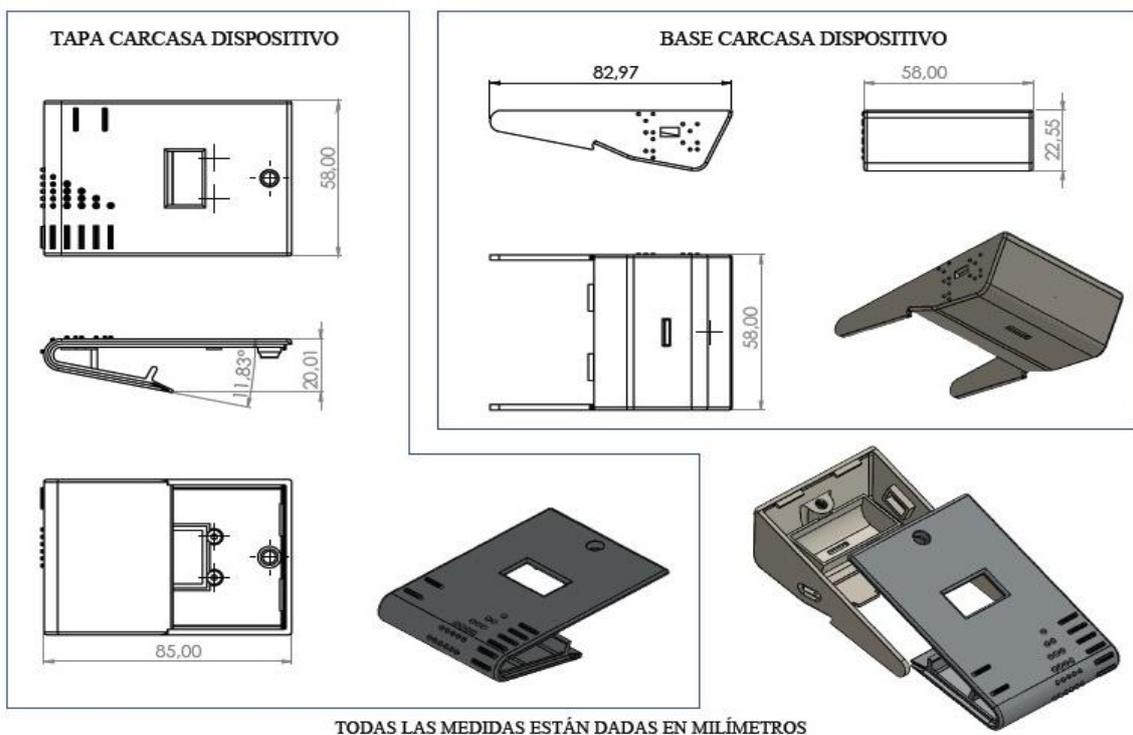
Al terminar el modelado de las componentes anteriores se procede a la realización del diseño en 3D de la carcasa en dos piezas (base carcasa, tapa carcasa). Teniendo en cuenta las dimensiones y la distribución de los componentes electrónicos se dejan orificios en algunas zonas (ubicación de sensor, interruptor de encendido y apagado, puerto de carga, ventilación de batería y tornillo de ajuste) y debido al bajo costo en comparación con otros tipos de fabricación como la inyección, se determinó que la impresión 3D resulta ser la más viable para la construcción de la carcasa.

Dentro del campo de la impresión 3d podemos encontrar variedad de materiales para la elaboración de piezas entre ellos el ABS, PLA, NYLON, HIPS, PET entre otros. Debido a su alta resistencia y a que es un material biodegradable se opta por el PLA para la construcción de la carcasa.

En la figura 10 se relacionan las imágenes del diseño de la carcasa y sus dimensiones.

Figura 10

Plano Carcasa Diseño

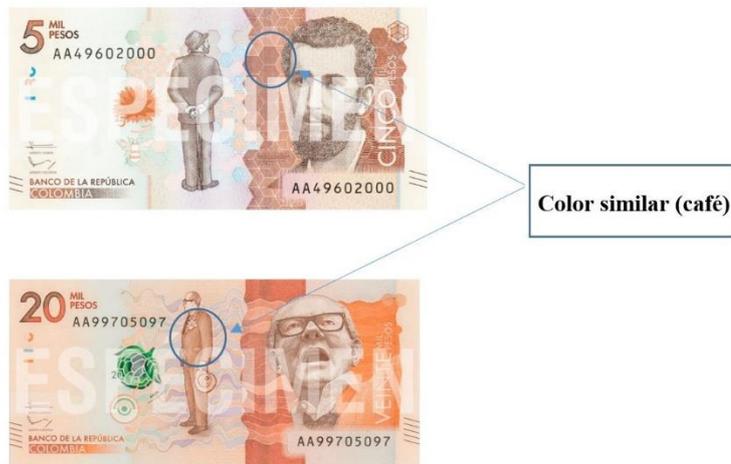


Fase 5: Evaluación del diseño.

Al realizar el montaje de los componentes electrónicos se observa que el diseño es eficaz, pero al realizar pruebas de funcionamiento no se obtienen los resultados esperados, debido a la ubicación del sensor por causa del contraste y tonalidad del color que se repite en algunos billetes como el de 5000 y 20000 (Figura 6), repitiendo los valores al momento de hacer la toma de datos del billete.

Figura 11

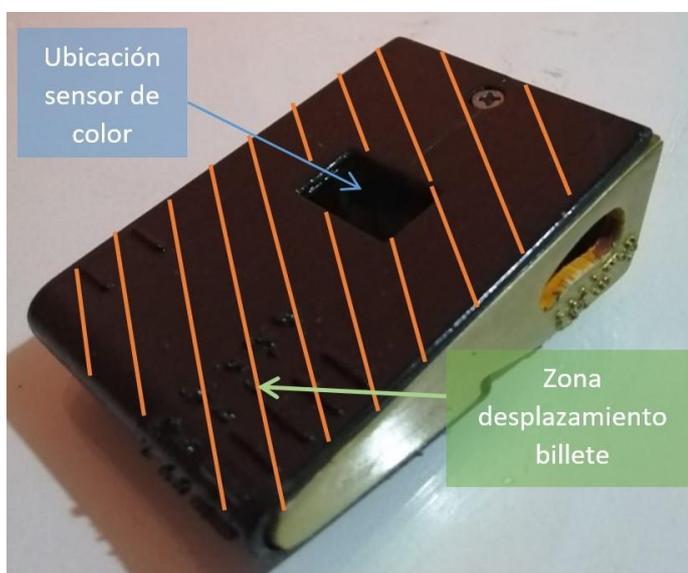
Similitud de Colores Entre Billetes



En el modelo de la figura 12 el billete se podía desplazar por la superficie de la carcasa sin limitaciones, pero debido a la similitud de colores los valores se repetían haciendo que el censado del billete no correspondiera con su denominación, como se puede ver en la figura 11.

Figura 12

Zona de Desplazamiento del Billeto

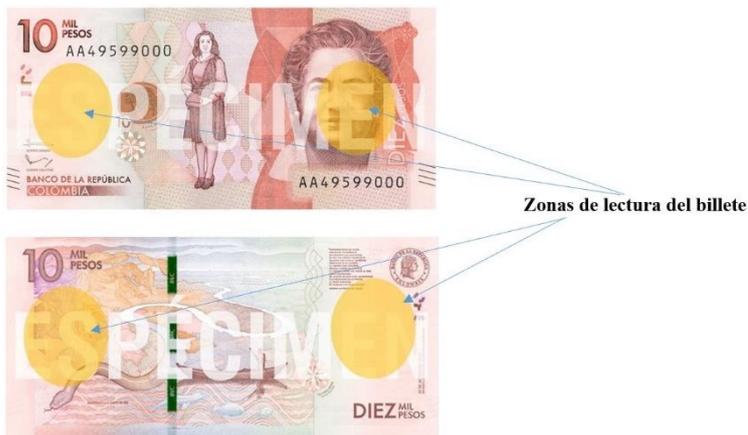


Fase 6: Conclusión y retroalimentación.

Al evaluar el diseño se concluye que la ubicación del sensor se debe cambiar, limitando el desplazamiento del billete con el objetivo de tener una mejor lectura de este. Para ello solo se deben tener en cuenta algunas zonas del billete como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Zonas de Lectura del Billete



Por esta razón se realizan modificaciones con respecto a la ubicación del sensor y se agregan dos topes, los cuales permiten que la lectura del billete se realice únicamente en dicha zona como se muestra en las figuras 14 y 15.

Figura 14

Ubicación del Billete; Delimitación de Topes

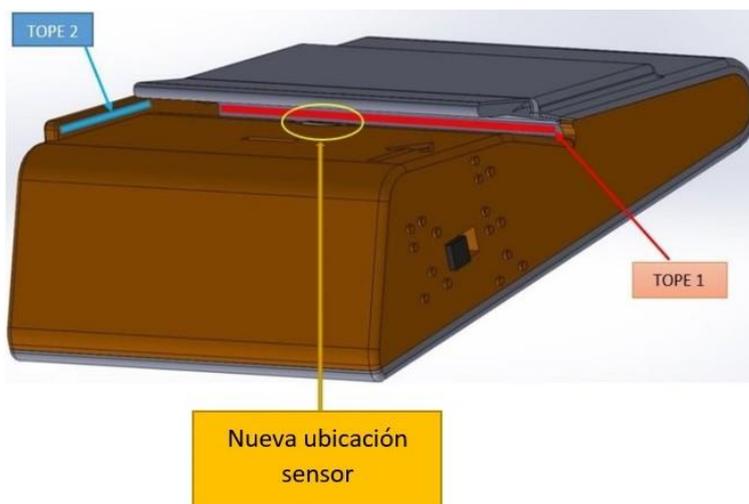


Figura 15

Ubicación del Billete; uso de Topes



Con esta modificación la lectura del billete al momento de realizar el censado tiene un mayor porcentaje de efectividad, debido a que las zonas de censado arrojan menos datos y los valores no se repiten entre las diferentes denominaciones de billetes.

¿Cuál será la asignación presupuestal?

Una de las observaciones por parte de las personas con discapacidad visual fue sobre el costo que tendría este prototipo, ya que en ocasiones estas personas no cuentan con suficientes recursos económicos para poder acceder a este tipo de tecnologías que les pueden permitir mejorar su calidad de vida.

A continuación, en la tabla 6 se muestra el presupuesto que requiere la construcción del prototipo.

Tabla 6

Presupuesto para la Construcción del Prototipo Lector de Billetes

Descripción	Valor
Arduino nano	\$19.500
Batería 16340	\$18.000

Micromotor vibrador 1027	\$4.000
Modulo sensor de color TCS34725	\$24.000
Modulo USB TP4056	\$5.000
Impresión carcasa	\$70.000
Switch	\$1.000
Cables conectores	\$3.000
Ensamblaje dispositivo	\$40.000
Total	\$184.500

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Aspecto 2: Requerimientos.

En este aspecto identificamos claramente las necesidades de los usuarios frente a la problemática para establecer características que debemos tener en cuenta al momento desarrollar el prototipo lector de billetes y determinar los requerimientos funcionales que va a tener el dispositivo, con el fin de que la solución sea exitosa.

Por lo tanto, al momento de realizar los requerimientos del dispositivo desarrollamos estas tres actividades (identificar, contextualizar y organizar).

Identificar.

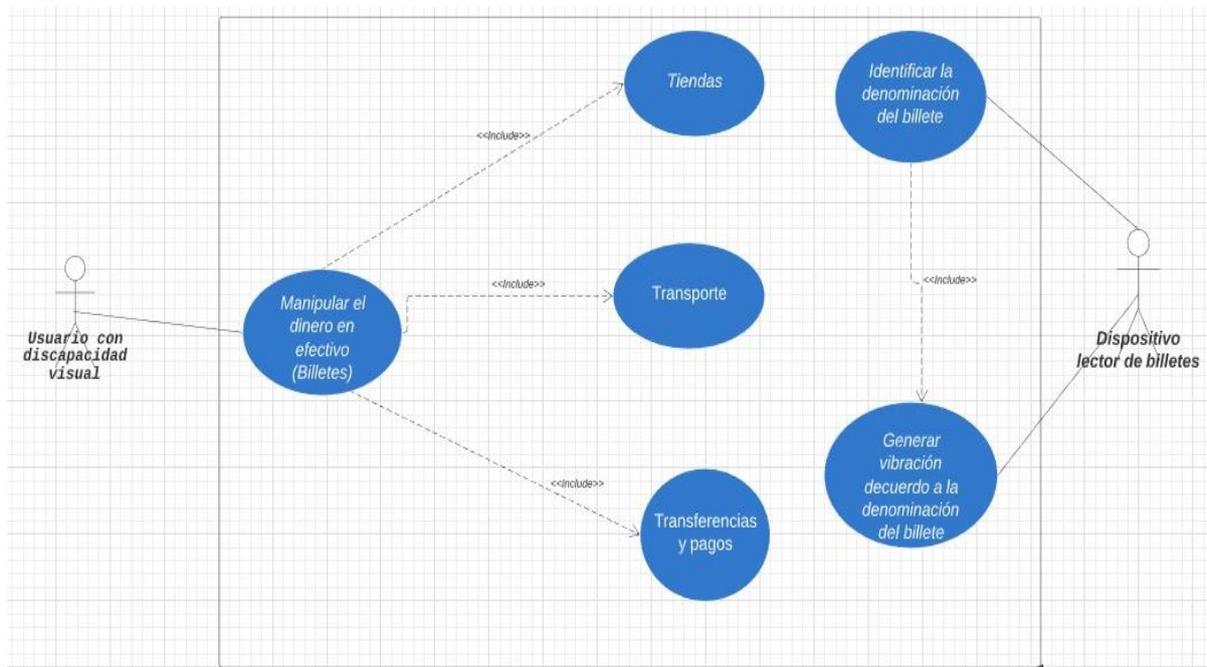
Para identificar las necesidades buscamos información de los actores que intervienen en la problemática, los posibles escenarios y como los actores hacen uso de estos escenarios. Por lo tanto, toda la población con discapacidad visual son actores. Los escenarios están relacionados al momento de dirigirse y realizar alguna compra en tiendas, ya sea para adquirir algún bien material o alimenticio, al desplazarse de un punto A un punto B en la ciudad por medio del transporte público en donde deben pagar el pasaje, y al momento de realizar algún pago o transferencia bancaria.

Al identificar estas necesidades podemos responder a la pregunta ¿Qué hay que hacer?, un dispositivo que les permita a las personas con discapacidad visual poder reconocer la denominación de los billetes al momento de realizar alguna actividad relacionada con el uso del dinero, este dispositivo debe ser de fácil portabilidad y que cuente con diferentes vibraciones para que las personas con discapacidad visual puedan identificar las distintas denominaciones de los billetes colombianos.

En la figura 16 se expone como sería la interacción de la persona con discapacidad visual al momento de manipular dinero en diferentes contextos con el uso del dispositivo lector de billetes.

Figura 16

Diagrama de Casos de Uso



Al momento de realizar una compra en una tienda, el usuario con discapacidad visual tiene la necesidad de manipular el dinero en efectivo (billetes) y conocer la denominación del billete con el que va a hacer el pago. Por esta razón es necesario el uso del dispositivo lector de billetes que identifica y permite al usuario saber la denominación del billete por medio de distintas vibraciones.

Cuando el usuario se dispone a desplazarse de un lugar a otro utilizando un medio de transporte público, debe conocer con anterioridad la denominación del billete, para esto utiliza el dispositivo lector de billetes. posteriormente recibe el cambio y lo verifica usando nuevamente el dispositivo lector de billetes.

En algunas ocasiones el usuario tiene la necesidad de efectuar pagos y transferencias en entidades bancarias. por esta razón requiere conocer con exactitud la cantidad de dinero que va a entregar y/o a recibir. por lo cual el dispositivo lector de billetes facilita el reconocimiento de estos.

Para facilitar el proceso de obtención de información se dio respuestas a cuatro interrogantes: **¿Quién?**, **¿Qué?**, **¿Cómo?** y **¿Cuáles?**, a continuación, se presenta un conjunto de tablas que permitieron facilitar este proceso.

¿Quién?

En la tabla 7 se evidencia el grupo principal de personas con interactúan con el dispositivo.

Tabla 7

Actores Principales

Actores
Personas con discapacidad visual
Integrantes del proyecto

Realizada por: Wilber Duarte, Diego Rojas

¿Qué?

En la tabla 8 se listan los componentes principales del dispositivo.

Tabla 8*Componentes Principales del Dispositivo*

Componentes	
•	Modulo sensor color RGB TCS34725
•	Tarjeta Arduino nano
•	Micromotor vibrador 1027
•	Carcasa del dispositivo
•	Código fuente
•	Fuente de alimentación

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

¿Cómo?

La tabla 9 es una matriz de actores vs componentes donde se describen los escenarios posibles de utilización entre actores y componentes según el caso.

Tabla 9*Relación de Actores vs Componentes*

Componentes	Actores	Personas con discapacidad visual	Integrantes del proyecto
	Modulo sensor color RGB TCS34725		
Tarjeta Arduino nano			
Micromotor vibrador 1027			
Uso de vibración			

Diseño de Carcasa del dispositivo		
Desarrollo del Código fuente		
Fuente de alimentación		

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

La tabla 10 muestra las relaciones que se usaron en la tabla 9.

Tabla 10

Relaciones Simples

		
No interviene	Participa	Cumplir
		Utiliza
Observa		

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

¿Cuales?

En la tabla 11 se hace una lista de los requerimientos principales.

Tabla 11

Requerimientos que Debe Tener el Dispositivo Lector de Billetes

Requerimientos

-
- Identificar la denominación de los billetes nacionales.
 - Que incluya vibración.
 - Botón de Encendido y apagado.
 - Batería con suficiente duración.
 - Procesar los datos obtenidos por el sensor de color RGB para emitir diferentes vibraciones dependiendo la denominación del billete.
 - Que incluya Señalética braille.

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Para identificar estas necesidades se utilizaron herramientas de búsqueda de información como entrevistas que se realizaron a personas con discapacidad visual en donde se evidencio la problemática y la falta de recursos tecnológicos que abordaran este tema, también se realizó una búsqueda de dispositivos similares pero no se encontraron que cumplieran con esta función, lo que se logra evidenciar es que existen aplicaciones para dispositivos móviles que deben ser instaladas y acceder a versiones o suscripciones Premium para acceder a todas las funciones que permitan hacer el reconocimiento de la denominación de los billetes.

Contextualizar.

La información recolectada anteriormente se analizará con el objetivo de identificar y validar los requerimientos para garantizar una posible solución al problema facilitando el uso del dinero a las personas con discapacidad visual en diferentes situaciones. Para contextualizar los requerimientos, se utiliza SMART en donde se ejecutan cinco condiciones que organizan y dan claridad a la implementación del dispositivo lector de billetes como

posible solución. Las condiciones son: Suficiente, Medible, Alcanzable, Relevante y Temporal.

Suficiente.

En esta condición se busca que cada requerimiento sea suficiente, para ello debe ser claro y conciso. En la tabla 12 se establece cada uno de los requerimientos vs los componentes.

Tabla 12

Requerimientos Funcionales Suficientes

Requerimiento	Componente	Modulo	Tarjeta	Micromotor	Diseño de	Desarrollo	Fuente
	sensor	color	RGB	TCS34725	Arduino nano	vibrador 1027	(uso de Vibración)
					Carcasa del dispositivo	del Código fuente	de alimentación
<ul style="list-style-type: none"> Identificar la denominación de los billetes nacionales. Que incluya vibración. Botón de Encendido y apagado. 							
							

- Batería con suficiente duración. 
- Procesar los datos obtenidos por el sensor de color RGB para emitir diferentes vibraciones dependiendo la denominación del billete.    
- Que incluya Señalética braille. 

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Medible.

Se considera medible cuando el requerimiento va de la mano con el objetivo general, para ello se realiza una verificación con referencia a la cantidad, calidad y costo. En la tabla 13 se muestran los requerimientos frente a la métrica o criterio de evaluación que este logra, en donde el número cinco (5) representa el cumplimiento total del requerimiento y uno (1) un bajo cumplimiento de este.

Tabla 13

Métrica del requerimiento

Requerimiento	Métrica
---------------	---------

	4	5
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar la denominación de los billetes nacionales. 	✓	
<ul style="list-style-type: none"> • Que incluya vibración. 		✓
<ul style="list-style-type: none"> • Botón de Encendido y apagado. 		✓
<ul style="list-style-type: none"> • Batería con suficiente duración. 		✓
<ul style="list-style-type: none"> • Procesar los datos obtenidos por el sensor de color RGB para emitir diferentes vibraciones dependiendo la denominación del billete. 		✓
<ul style="list-style-type: none"> • Que incluya Señalética braille. 		✓

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Alcanzable.

El requerimiento es alcanzable cuando se hace posible construirlo a través de la realidad lógica, o científica. En la tabla 14 se describen los componentes y las posibilidades tecnológicas que hacen que el requerimiento sea alcanzable.

Tabla 14*Componentes alcanzables*

Componentes	Tecnología
Modulo sensor color RGB TCS34725	Este módulo se encuentra disponible en tiendas de electrónica y es de bajo costo.
Tarjeta Arduino nano	Esta tarjeta está disponible en diferentes referencias en tiendas de electrónica.
Micromotor vibrador 1027 Uso de vibración	Este motor es utilizado en dispositivos celulares y es de bajo costo.
Diseño de Carcasa del dispositivo	Existen varios procesos para la fabricación de carcasas en el mercado y la que se implementó fue la impresión 3D debido a sus características y bajo costo.
Desarrollo del Código fuente	En un ordenador se instala un software (Arduino) que permite crear el código fuente.
Fuente de alimentación	En la actualidad existen diferentes tipos de baterías que se pueden utilizar para alimentar dispositivos electrónicos,

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Relevante.

En la siguiente tabla (tabla 15) se describen los requerimientos y la persona involucrada en la realización del requerimiento.

Tabla 15

Requerimientos y actores involucrados

Requerimiento	Actores
Identificar la denominación de los billetes nacionales.	Personas con discapacidad visual
Que incluya vibración.	Personas con discapacidad visual
Botón de Encendido y apagado.	Personas con discapacidad visual
Batería con suficiente duración.	Personas con discapacidad visual
Procesar los datos obtenidos por el sensor de color RGB para emitir diferentes vibraciones dependiendo la denominación del billete.	Integrantes del proyecto
Que incluya Señalética braille.	Personas con discapacidad visual

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Temporal.

A continuación (tabla 16), se establecen los rangos de tiempo para el desarrollo y el mejoramiento de los componentes de cada uno de los requerimientos.

Tabla 16

Rangos de tiempo para el desarrollo de los componentes

COMPONENTES	TIEMPO
-------------	--------

	Rango de tiempo (Estimado en semanas)
Modulo sensor color RGB TCS34725	Entre una y dos semanas
Tarjeta Arduino nano	Entre una y dos semanas
Micromotor vibrador 1027	Entre una y dos semanas
Uso de vibración	
Diseño de Carcasa del dispositivo	Entre siete y ocho semanas
Desarrollo del Código fuente	Entre ocho y nueve semanas
Fuente de alimentación	Entre una y dos semanas

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

La contextualización de los requerimientos arrojó como resultado que el dispositivo lector de billetes para personas con discapacidad visual es una de las soluciones apropiadas para este tipo de necesidad, debido a que se cumple con todos los requerimientos que todos los componentes son asequibles y de bajo costo.

Organizar.

El objetivo de esta actividad es organizar los requerimientos para establecer prioridades y llevar un control adecuado en el desarrollo del dispositivo, por lo tanto, al tener establecidas estas prioridades podemos identificar cuáles van a hacer los requerimientos mínimos que debe tener el dispositivo lector de billetes para que las personas con discapacidad visual puedan identificar la denominación de los billetes nacionales.

Para hacer la organización de los requerimientos estos deben contar con una información básica que los identifique y los diferencie de los demás requerimientos, una

descripción que los justifique, una categorización en cuanto a una clasificación de prioridades para el usuario y los posibles componentes del dispositivo, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17

Organización de requerimientos

1	Información básica	Descripción	Categorización
Identificar	R1	Identificar las diferentes	Alta
	Tipo	denominaciones de	
	Necesario	billetes nacionales.	
Procesar datos	R2	El sensor de color RGB	Alta
	Tipo	debe registrar datos para	
	Necesario	procesarlos y emitir una señal vibratoria acorde a denominación del billete.	
Vibración	R3	El dispositivo debe	Alta
	Tipo	contar un dispositivo	
	Necesario	generador de frecuencias de vibración para identificar las diferentes denominaciones de los billetes.	

Señalización	R4	La carcasa del	Media
	Tipo	dispositivo debe incluir	
	Necesario	señalética en braille	
Carga	R5	El dispositivo lector de	Baja
	Tipo	billetes debe contar con	
	Deseable	una batería que permita	
		su funcionamiento	
		durante todo el día.	
Botón On/Off	R6	El dispositivo lector de	Baja
	Tipo	billetes debe contar con	
	Deseable	interruptor de apagado y	
		encendido	

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Según la tabla anterior los requerimientos mínimos para un correcto funcionamiento del dispositivo son aquellos que se encuentran en una categorización alta relacionados al procesamiento de datos, la incorporación de vibración y la identificación de la denominación de los diferentes billetes. Debido a que estos requerimientos son sumamente necesarios para que la solución sea aceptada por los usuarios.

Aspecto 3: Arquitectura.

En este aspecto se relaciona el funcionamiento, consumo de energía, tiempo de uso, diagrama de conexión, Características del dispositivo, uso del dispositivo y los planos del diseño final que se empleó al momento de desarrollar y construir el dispositivo lector de billetes que responda a las necesidades de la población involucrada.

Funcionamiento.

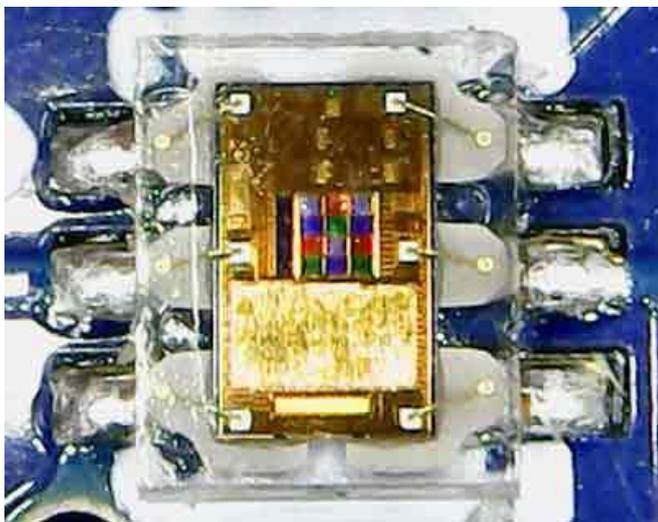
En este apartado se encuentra todo lo relacionado con el funcionamiento del dispositivo lector de billetes explicando las siguientes tres etapas: Identificación de las denominaciones, Procesamiento de datos y respuesta por denominaciones.

Identificación de las denominaciones.

Para lograr la identificación de la denominación del billete se utiliza principalmente un sensor de color RGB TCS34725 que incorpora una matriz de 3x4 fotodiodos filtrados para rojo, verde y azul (ver figura 17) que permiten medir los valores RGB del billete por medio de un procesador como Arduino.

Figura 17

Matriz Sensor de Color en Microscopio



Nota .(<https://www.luisllamas.es/wp-content/uploads/2018/01/rduino-tcs34725-microscopio.jpg>).

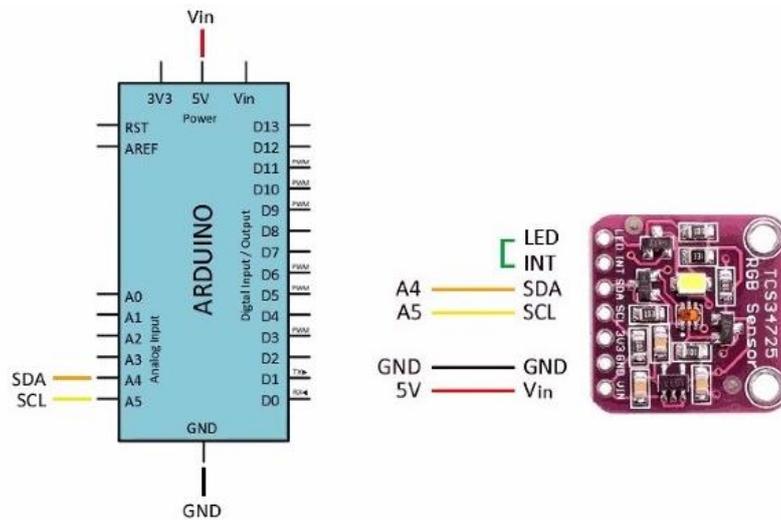
Procesamiento de datos.

El sensor de color RGB está conectado a una placa de Arduino nano (ver figura 18) que por medio de su software y con ayuda de la librería desarrollada por Adafruit se pueden

leer estos valores RGB, para luego convertir estos valores por medio de la librería ColorConverter de RGB a HSV (ver figuras 19 y 20).

Figura 18

Conexión Sensor de Color RGB con Arduino Nano



Nota . (<https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-color-rgb-tcs34725/>)

Figura 19

Código RGB a HSV por Medio de las Librerías

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
[Icons]
codigo_base_dispositivo_numeros_360_con_boton_full $
// Hacer rgb medición relativa
uint32_t sum = clear;
float r, g, b;
r = red; r /= sum;
g = green; g /= sum;
b = blue; b /= sum;

// Escalar rgb a bytes
r *= 256; g *= 256; b *= 256;

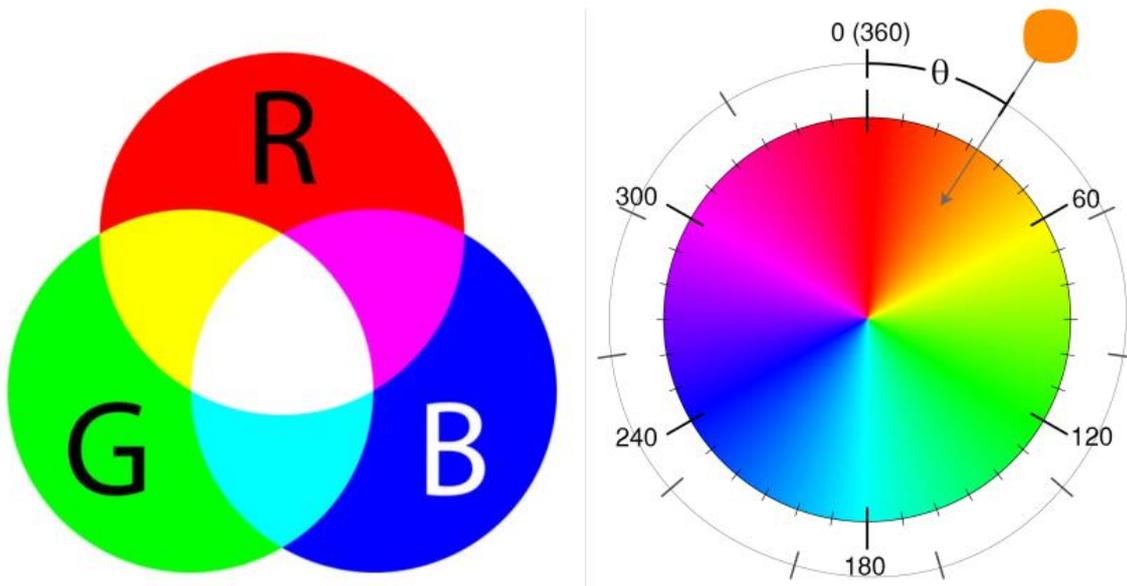
// Convertir a hue, saturation, value
double hue, saturation, value;
ColorConverter::RgbToHsv(red, green, blue, hue, saturation, value);

// Mostrar nombre de color
printColorName(hue * 360);

delay(1000);
```

Figura 20

Representación de Color de RGB a HSV



Nota

https://www.researchgate.net/profile/Sergey_Yemelyanov/publication/279515607/figure/figure2/AS:342726349475846@1458723737463/HSV-shade-representation.png

En el puerto serie del software Arduino se muestran los valores HSV arrojados según la zona de censado, estos valores estarán relacionados con diferentes vibraciones según el color del billete (Ver figura 21).

Figura 21

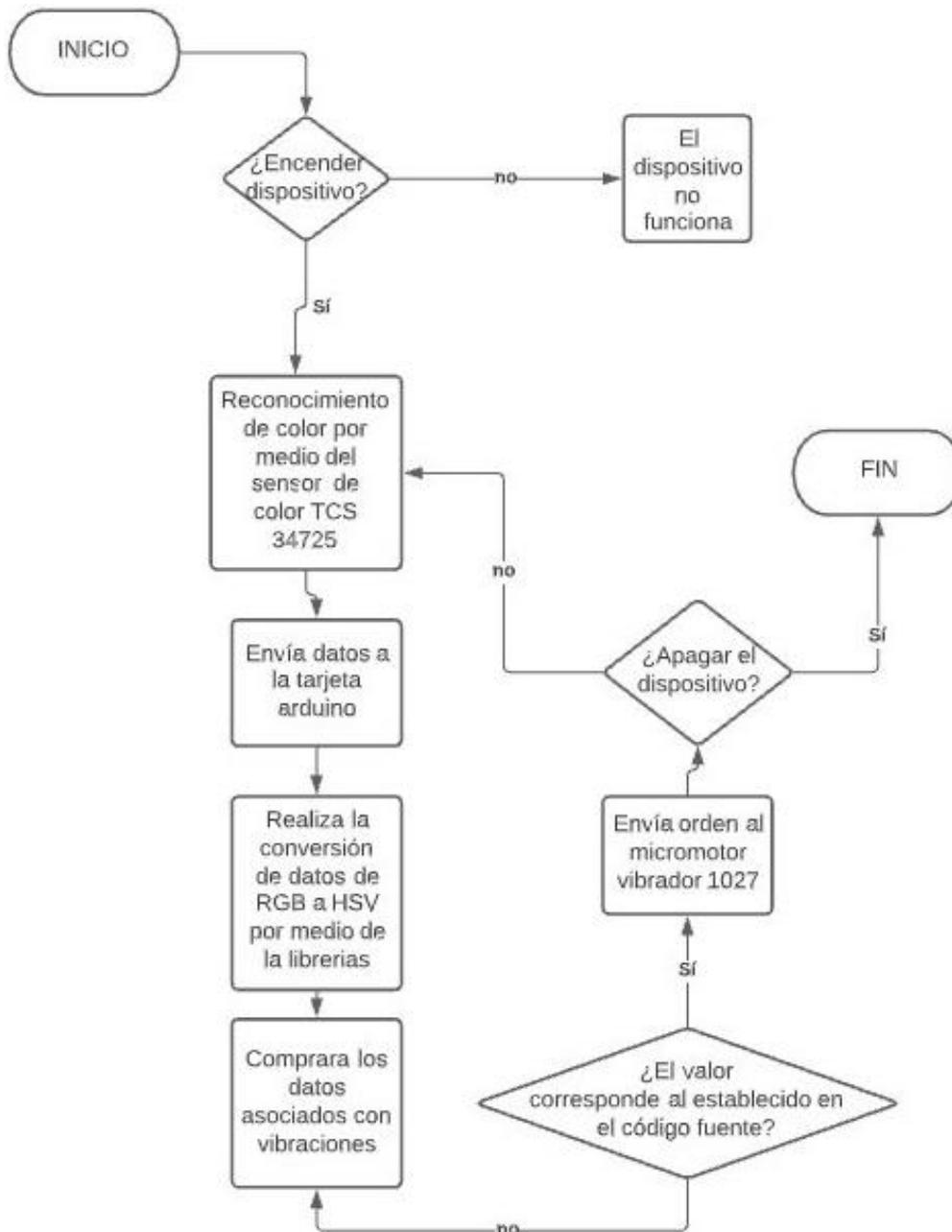
Vibración Billete \$2000 Según Valor HSV

```
}  
void printColorName(double hue)  
{  
  if (hue < 0)  
  {  
    Serial.println("16 2000");  
    digitalWrite(moto, HIGH); //encender motor  
    delay(300);  
    digitalWrite(moto, LOW); //apagar motor  
    delay(100);  
  } else if (hue < 18)  
  {  
    Serial.println("18 2000");  
    digitalWrite(moto, HIGH); //encender motor  
    delay(300);  
    digitalWrite(moto, LOW); //apagar motor  
    delay(100);  
  } else if (hue < 20)  
  {  
    Serial.println("20 2000");  
    digitalWrite(moto, HIGH); //encender motor  
    delay(300);  
    digitalWrite(moto, LOW); //apagar motor  
    delay(100);  
  }  
}
```

En la figura 22 se puede observar un diagrama de flujo del funcionamiento general del dispositivo que muestra cada uno de los procesos principales que se llevan a cabo durante el reconocimiento de la denominación de los billetes.

Figura 22

Diagrama de Flujo de Funcionamiento del Dispositivo



Resultados de lectura.

El micromotor vibrador 1027(figura 23) recibe las señales obtenidas y procesadas por el Arduino nano, y estas son entregadas al usuario por medio de diferentes vibraciones dependiendo de la denominación del billete con el fin de que este pueda reconocerlo.

Figura 23

Micromotor Vibrador 1027



Nota . El micromotor vibrador se encarga de generar vibraciones que se pueden variar con ayuda del código fuente (<https://images.app.goo.gl/p7oK2nAeiMrEXT5o6>)

Consumo de energía del dispositivo.

La fuente de energía que se utilizó para alimentar el dispositivo es una batería recargable de ion de litio de 2500 mAh con un voltaje de 3.7v debido a que tiene unas dimensiones de 34 mm x 16 mm que se ajustan al espacio en la carcasa.

Consumo de energía dispositivo funcionando.

Para saber el consumo del dispositivo funcionando se deben sumar el consumo de corriente de cada uno de los elementos que conforman el dispositivo como lo muestra la tabla 18 y saber el tiempo que se demora en detectar la denominación del billete.

Tabla 18

Elementos del dispositivo

Elemento	Corriente (mA)
Arduino nano	46
Micromotor	166.6
Sensor TCS34725	20
Módulo de carga	80

Total	312.6
-------	-------

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

El tiempo que se demora el dispositivo en detectar la denominación del billete es de 5 segundos, haciendo la conversión a horas arroja un resultado de 0.00138889 horas. Por lo tanto, multiplicamos el consumo de corriente por el tiempo que se demora la detección.

$$\text{Consumo total} = (\text{consumo de corriente} \times \text{tiempo})$$

$$\text{Consumo total} = (312.6 \text{ mA} \times 0.00138889 \text{ h})$$

$$\text{Consumo total} = 0.4341 \text{ mAh}$$

Para calcular el consumo de energía del dispositivo cada vez que hace una detección

$$\text{Consumo energía por detección} = (\text{voltaje batería} \times \text{consumo total})$$

$$\text{Consumo energía por detección} = (3.7\text{v} \times 0.4341 \text{ mAh})$$

$$\text{Consumo energía por detección} = 1.6061 \text{ mWh}$$

Número de detecciones.

Para conocer el número de detecciones primero se debe saber la energía de la batería.

$$\text{Energía de batería} = (\text{voltaje} \times \text{capacidad batería})$$

$$\text{Energía de batería} = (3.7\text{v} \times 2500 \text{ mAh})$$

$$\text{Energía de batería} = 9.250 \text{ mWh}$$

Para determinar el número de detecciones

$$\text{Número de detecciones} = (\text{energía de batería} / \text{consumo de energía por detección})$$

$$\text{Número de detecciones} = (9.250 \text{ mWh} / 1.6061 \text{ mWh})$$

$$\text{Número de detecciones} = 5759.29 \text{ detecciones}$$

Tiempo de uso.

Para determinar el tiempo de uso del dispositivo se tiene en cuenta la capacidad de la batería y el consumo total del dispositivo en funcionamiento.

$$\text{Tiempo de uso} = \text{Capacidad batería} / \text{Consumo total}$$

$$\text{Tiempo de uso} = 2500 \text{ mAh} / 312.6 \text{ mA}$$

$$\text{Tiempo de uso} = 7.99 \text{ horas de uso continuo}$$

Tiempo de carga.

Para determinar el tiempo de carga se utiliza una intensidad de carga de 1500mA.

$$\text{Tiempo de carga total} = (\text{capacidad batería} / \text{intensidad de carga})$$

$$\text{Tiempo de carga total} = (2500\text{mAh}/1500\text{mA})$$

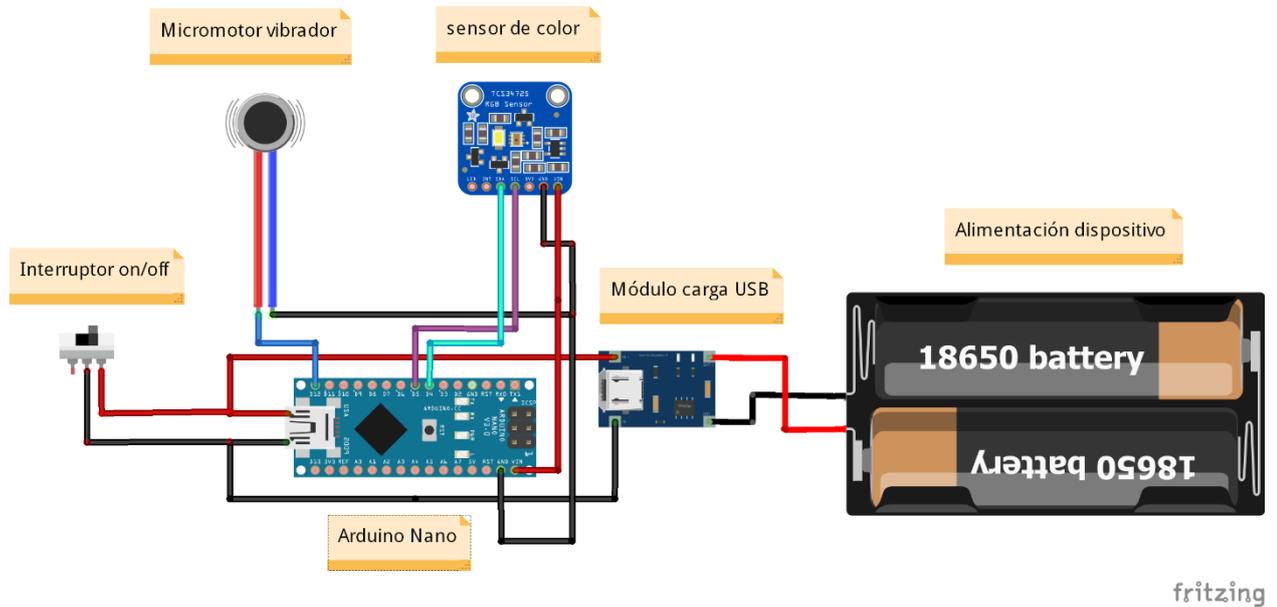
$$\text{Tiempo de carga total} = 1.66 \text{ horas}$$

Diagrama de conexiones del hardware.

En la figura 24 se observan las conexiones de cada uno de los elementos que componen el circuito electrónico que permite realizar la lectura de la denominación del billete por medio del sensor de color TCS-34725 quien detecta el color y envía la señal a la tarjeta de Arduino y posteriormente emite una orden al micromotor vibrador con la secuencia de vibración. El dispositivo cuenta con un batería de 2500 mAh que proporciona la energía necesaria para su correcto funcionamiento, para cargar el dispositivo se encuentra un módulo de carga micro USB quien proporciona el voltaje necesario para el funcionamiento del dispositivo. También se evidencia un interruptor que sirve para cortar el suministro de energía eléctrica.

Figura 24

Circuito Interno del Dispositivo



Características del dispositivo.

En la tabla 19 se observan las características generales con las que cuenta el dispositivo lector de billetes.

Tabla 19

Características dispositivo lector de billetes

Nombre	Descripción
Sensor de color	RGB TCS34725
Vibración	Sí
Batería interna	2400 mAh, micro USB
Procesador	Atmega 328
Memoria flash	32K bytes
Voltaje de funcionamiento	5V
Sonido	No

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Uso del dispositivo.

Debido a que el dispositivo está diseñado para personas con discapacidad visual es importante que el paso a paso de su uso se explique de manera sencilla utilizando terminología simple para que sea fácil su interpretación. El dispositivo contara con un manual en braille.

A continuación, se relaciona el paso a paso del uso del dispositivo:

1. Se debe tomar el dispositivo con una mano y el billete en la mano contraría.

Como se muestra en la figura 25.

Figura 25

Paso 1 Disposición Billete y Dispositivo



2. Posicionar el billete, y deslizarlo por la parte posterior hasta el tope y mantenerlo estático como se muestra en la figura 26.

Figura 26

Paso 2 Ubicación Billete



3. En la figura 27 se muestra la ubicación del botón de encendido (interruptor) que se encuentra al costado derecho del dispositivo. Está acompañado de señalética en braille para el fácil reconocimiento por parte de los usuarios invidentes. Este se debe encender sin mover el billete como se indicó en el paso anterior.

Figura 27

Paso 3 Encender Dispositivo



4. El dispositivo emitirá una vibración dependiendo de la denominación del billete como se explica en la siguiente tabla:

Tabla 20

Denominación y característica de vibración

DENOMINACIÓN DEL BILLETE	NUMERO VIBRACIONES	IMAGEN
Dos mil pesos (\$2000)	Una	
Cinco mil pesos (\$5000)	Dos	
Diez mil pesos (\$10.000)	Tres	
Veinte mil pesos (\$20.000)	Cuatro	
Cincuenta mil pesos (\$50.000)	Cinco	
Cien mil pesos (\$100.000)	Vibración permanente	

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

5. Si se desea una mejor efectividad al momento de la lectura del billete, el dispositivo cuenta con una plantilla que sirve para verificar si la lectura anterior fue eficaz. El billete se debe colocar como se muestra en la figura 28. (Esta plantilla se basó en la implementada por el INCI).

Figura 28

Paso 5 Verificación Denominación Billete



6. Si se quiere verificar la denominación de un nuevo billete se debe apagar el dispositivo y seguir nuevamente los pasos anteriores.

7. Si la lectura de los billetes ha finalizado se debe apagar el dispositivo.

Diseño modelo carcasa.

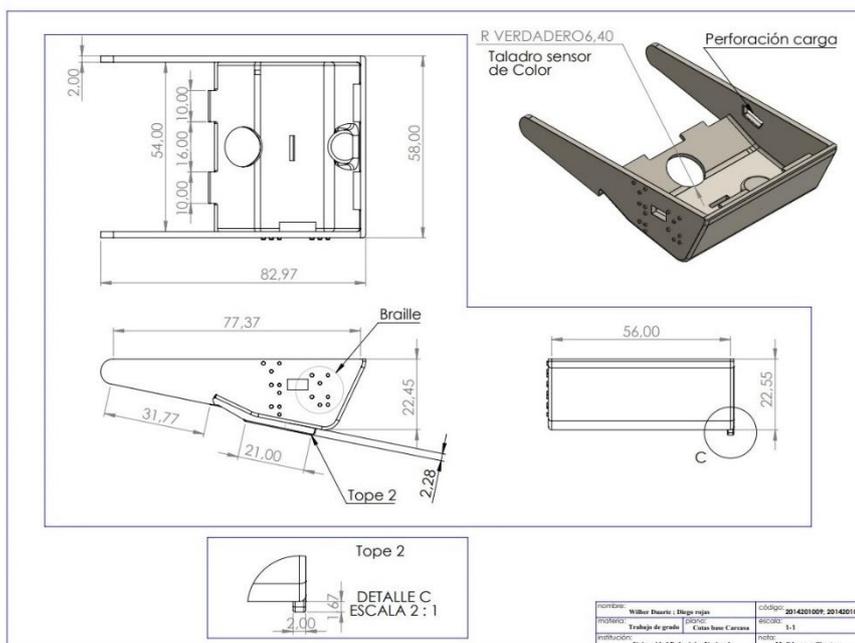
El diseño final de la carcasa corresponde al resultado de las pruebas realizadas a personas con discapacidad visual, a partir de sus observaciones y teniendo en cuenta las medidas de cada uno de los componentes electrónicos. Los siguientes planos fueron

diseñados en el programa SolidWorks el cual brinda las herramientas necesarias para elaboración del modelo del dispositivo lector de billetes.

El plano de la figura 29 describe la base de la carcasa (terminada) con sus respectivas acotaciones, mostrando perforaciones en donde se sitúan los elementos electrónicos, también señala la ubicación del sistema braille.

Figura 29

Planos Carcasa Base de Dispositivo

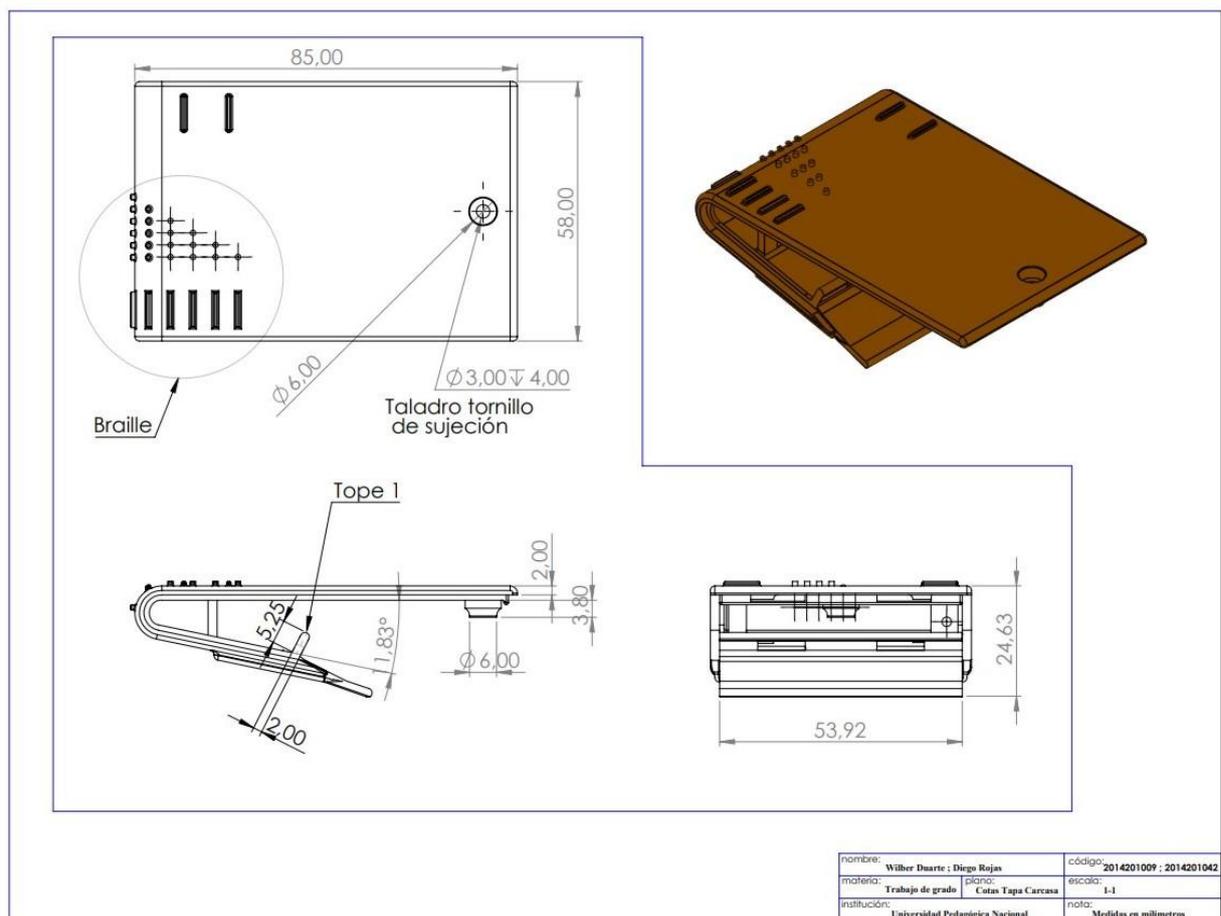


En la base de la carcasa se ensamblan todas las piezas y/o elementos electrónicos que hacen parte del funcionamiento del dispositivo.

La figura 30 muestra las medidas y características de la tapa de la carcasa, la cual cubre todo el circuito electrónico y cuenta con señalética en braille que permite la identificación de la denominación de los billetes en una plantilla similar a la del INCI. La tapa de la carcasa se sujeta a la base anterior por medio de un tornillo después de ser encajada.

Figura 30

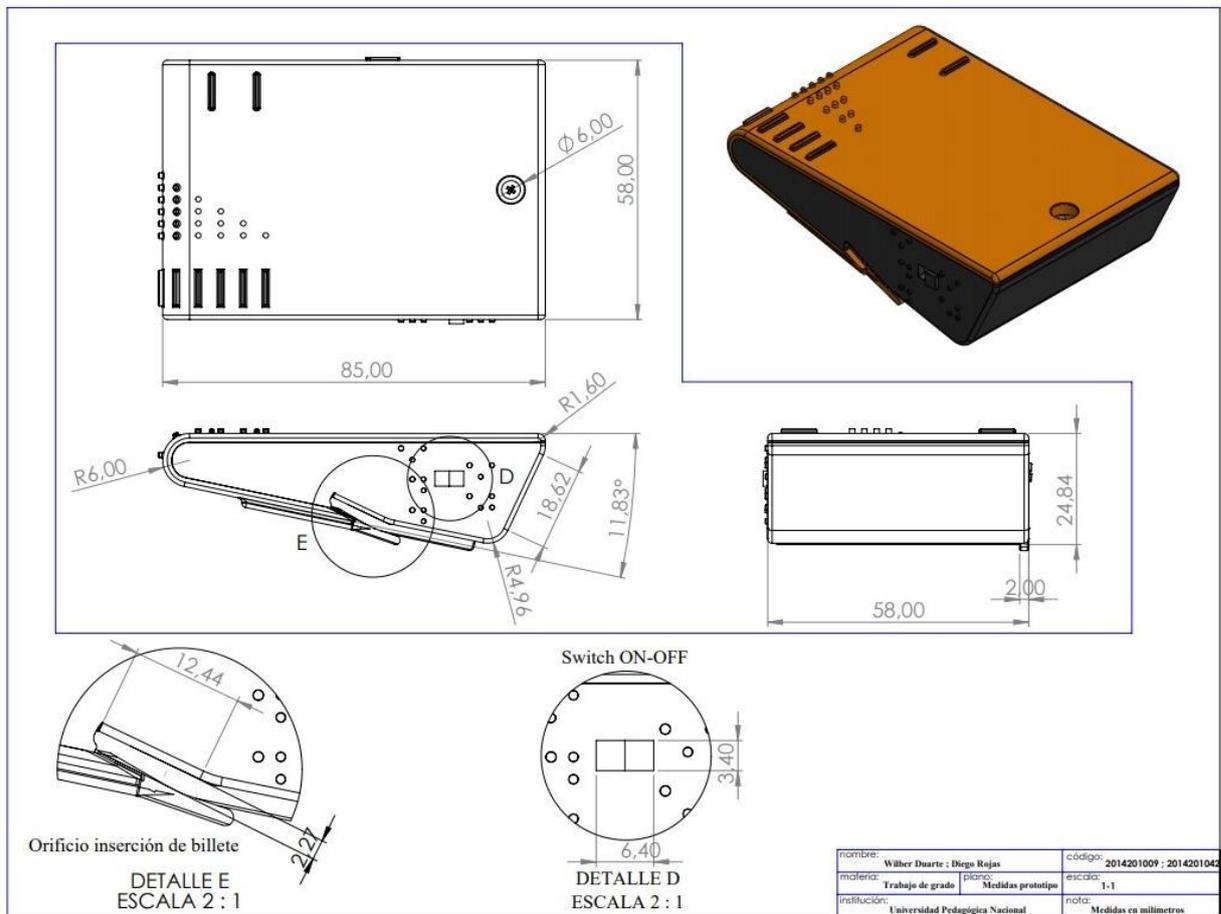
Planos Tapa Carcasa de Dispositivo



A continuación (figura 31) se muestra la carcasa ensamblada en su escala natural, detallando algunas partes a escala 2-1 para una mejor visualización de las cotas.

Figura 31

Medidas Dispositivo Terminado



En la figura 32 se puede observar el modelo del dispositivo en vista sombreada que hace alusión a la carcasa real. En la parte derecha del plano se muestra una vista de rayos X en donde se expone la ubicación de cada uno de los componentes ensamblados dentro de la carcasa.

Figura 32

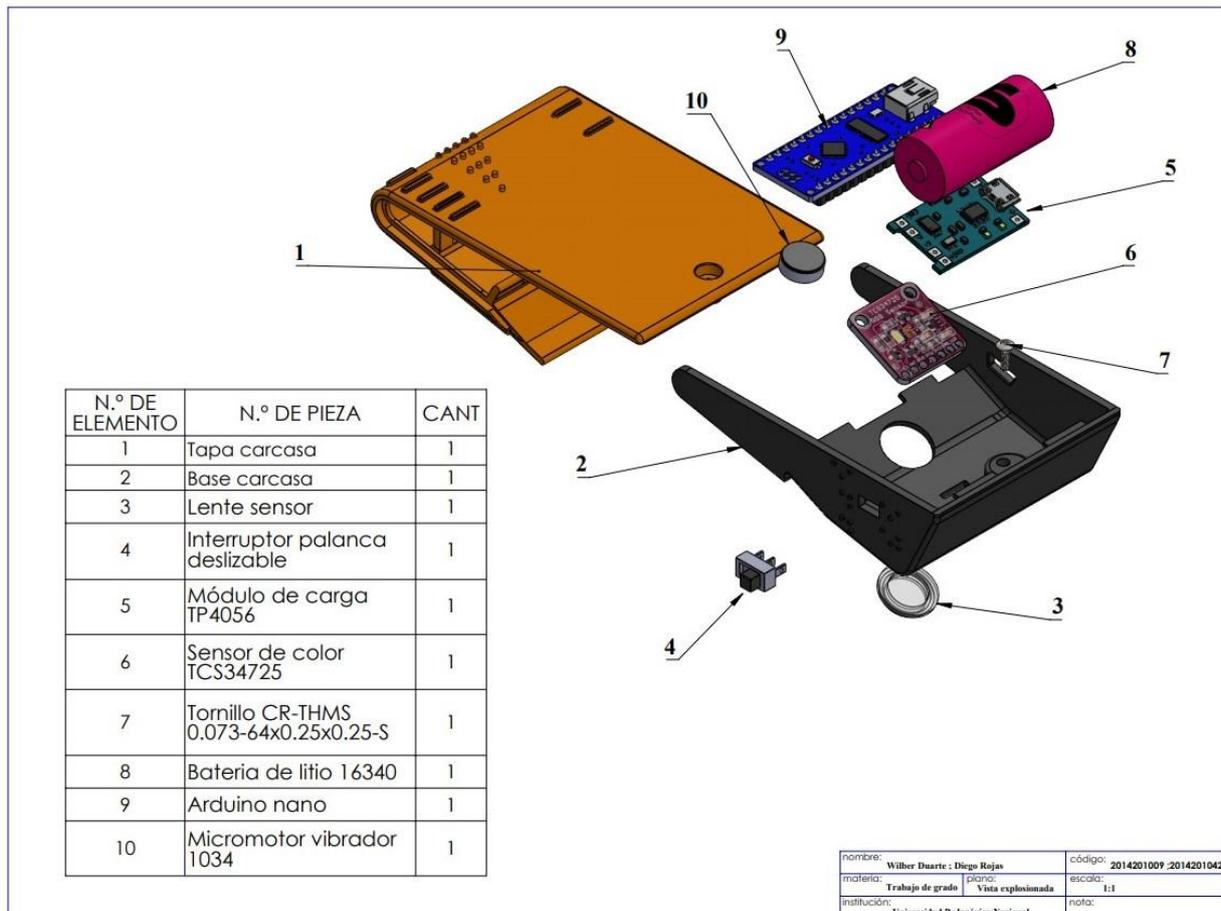
Ensamble de Dispositivo con sus Componentes Electrónicos en Vista Sombreada y Vista de Rayos X.



Por último, en la figura 33 se encuentra la vista explosionada o despiece del dispositivo (carcasa y componentes) el cual muestra el orden del ensamblaje y la relación entre piezas o partes electrónicas.

Figura 33

Explosivo de Dispositivo



Conclusión Arquitectura

Con la arquitectura se dio a conocer el proceso que se llevó a cabo, con el objetivo de dar una solución sostenible y adecuada al problema, en donde se aplicaron técnicas y principios científicos para una posterior construcción del prototipo funcional cuyas características puedan satisfacer la necesidad del usuario.

Aspecto 4: Construcción.

Este aspecto tiene como objetivo materializar el modelo planteado de acuerdo con el análisis de las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto. Propone las siguientes cuatro actividades (Diseño, organización, fabricación y aprobación), se da respuesta a tres de ellas en la primera parte de esta fase por medio de un diagrama Gantt, el cual planifica y programa tareas a lo largo de un periodo de tiempo determinado; la cuarta actividad corresponde a la aprobación y se dará solución en la segunda parte de esta fase.

Primera parte, Organización

La figura 34 muestra la organización del proceso que se llevó a cabo para el diseño y fabricación del dispositivo lector de billetes para personas con discapacidad visual. Se utiliza la herramienta Gantt Project (versión 2.8.11 Pilsen) para la construcción de un diagrama que relaciona las actividades con su calendario y recursos empleados. Cada una de las actividades corresponde a una tarea y de estas se derivan en subtareas las cuales se describen en la tabla 20.

Figura 34

Cronograma de Actividades Realizado en el Software Gantt Project

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO LECTOR DE BILLETES COLOMBIANOS PARA LA POBLACIÓN CON DISCAPACIDAD VISUAL

Design Whole

Encargado del proyecto	
Fechas de inicio y fin del proyecto	28-feb-2020 - 13-nov-2020
Progreso	100%
Tarea	34
Recursos	2

Esta es una investigación que tiene como objetivo la realización de un dispositivo cuya función principal es la de detectar la denominación de billetes colombianos y es pensada para personas con discapacidad visual, a lo largo de la investigación se establecerá un plan de ejecución que permita el desarrollo de este dispositivo.

Tarea

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Dispositivo reconocimiento de billetes para personas invidentes	28/02/20	12/11/20
Recolección de datos	28/02/20	3/03/20
Encuesta	28/02/20	29/02/20
Análisis resultados	2/03/20	3/03/20
Etapas de diseño	4/03/20	7/04/20
Construcción de 7 modelos	4/03/20	14/03/20
Pruebas de campo	16/03/20	19/03/20
Análisis resultados	20/03/20	23/03/20
modelo final	24/03/20	28/03/20
Modelado 3d y planos	30/03/20	7/04/20
Costos	30/03/20	9/04/20
Materias primas	30/03/20	30/03/20
Fabricación carcasa	8/04/20	9/04/20
Tipos y costos de fabricación	30/03/20	31/03/20
Pruebas circuito electrónico	31/03/20	8/04/20
Montaje hardware	31/03/20	31/03/20
Código fuente	1/04/20	6/04/20
Análisis resultados y hacer ajustes	7/04/20	8/04/20
Montaje prototipo	10/04/20	21/05/20
Ensamble prototipo	10/04/20	15/04/20
Pruebas código fuente	16/04/20	20/05/20
Prototipo terminado	21/05/20	21/05/20
Pruebas piloto Prototipo	22/05/20	26/05/20
Pruebas en la vida de?	22/05/20	22/05/20
Experiencias-funcionalidad	23/05/20	26/05/20
Manual	7/04/20	13/06/20
Paso a paso de la funcionalidad del dispositivo	7/04/20	17/04/20
Impresión manual braille	22/05/20	13/06/20
Pruebas dispositivo	15/06/20	31/10/20

Tarea

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Dispositivo terminado	15/06/20	18/07/20
Pruebas de usuario	20/07/20	26/09/20
Análisis y resultados de pruebas de usuario	28/09/20	31/10/20
Finalización proyecto	2/11/20	12/11/20
Entrega final	2/11/20	12/11/20

Recursos

Función	Nombre y apellido
Encargado proyecto 1	Wilber Duarte
Encargado proyecto 2	Diego Rojas

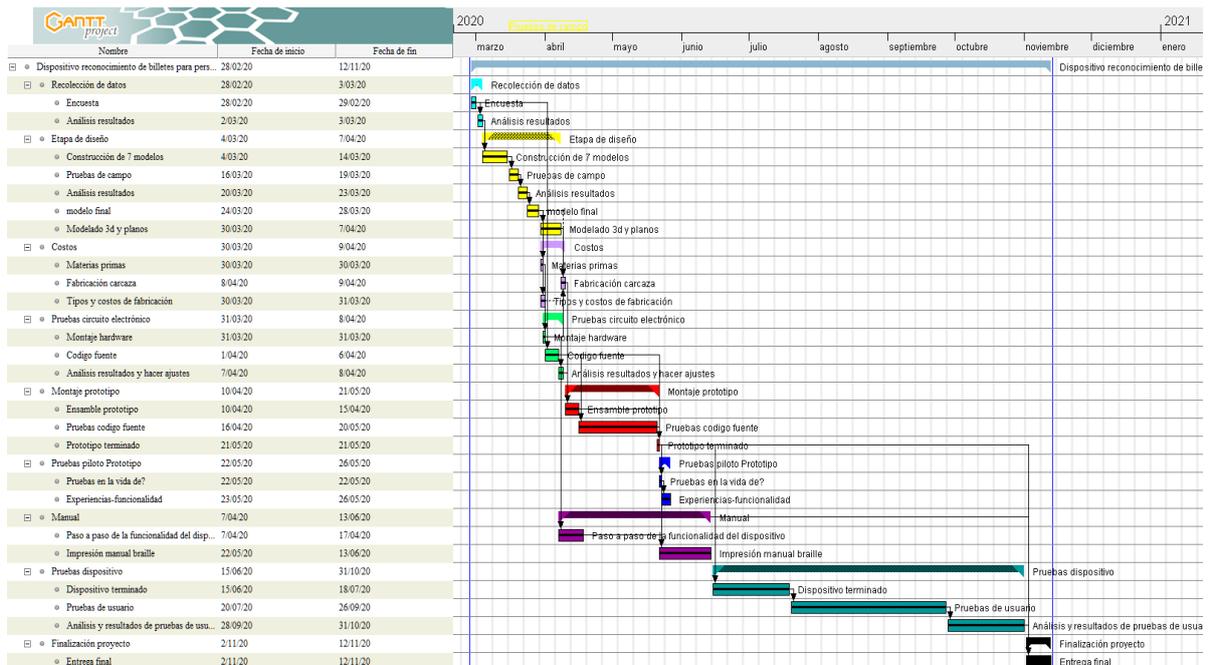


Tabla 21

Tareas diagrama Gantt Project

Tarea	Subtareas	Descripción
Recolección de datos	Encuesta, Análisis de resultados.	Se realizó encuesta a seis estudiantes con discapacidad visual

de la Universidad Pedagógica
Nacional.

Etapa de diseño	Construcción de siete modelos, Pruebas de campo, Análisis de resultados, Modelo final, Modelado 3d y Planos.	Se presentan diferentes modelos a partir de bocetos y posterior a ello se construyen en diferentes materiales con el fin de conocer el tamaño y la forma del prototipo.
Costos	Materias primas, fabricación carcasa, Tipos y costos de fabricación.	Se realizan diferentes consultas sobre los tipos, características y costos de cada uno de los componentes del dispositivo para su construcción.
Pruebas circuito electrónico	Montaje hardware, código fuente, análisis resultados y hacer ajustes.	Se realiza el diseño y montaje de los diferentes componentes electrónicos y se realizan pruebas de funcionamiento considerando hardware y software.
Montaje prototipo	Ensamblaje prototipo, Pruebas código fuente, Prototipo terminado	Se realiza el montaje de los componentes electrónicos dentro de la carcasa y se procede y verifica su funcionalidad
Pruebas piloto prototipo	Experiencias y Funcionalidad.	Se efectúan con ayuda de una persona con discapacidad visual.

Manual	Paso a paso de la funcionalidad del dispositivo, Impresión manual braille.	Se explica el funcionamiento del dispositivo por medio de un manual en braille facilitando la comprensión a personas con discapacidad visual
Pruebas dispositivo	Dispositivo terminado, Pruebas de usuario, Análisis y resultados de pruebas de usuario.	Al finalizar el prototipo funcional se procede a la ejecución de la prueba final con 6 personas con discapacidad visual en la localidad cuarta de san Cristóbal.

Realizado por: Wilber Duarte, Diego Rojas

Segunda parte, aprobación

En la primera parte se estableció un cronograma de actividades con permanentes controles logrando un proceso de calidad que permitió tener éxito en la fabricación del dispositivo.

El dispositivo cuenta con funciones básicas para el reconocimiento de las denominaciones de los billetes y es de fácil acceso por su bajo costo de fabricación, debido a que sus componentes son de fácil adquisición pudiendo dar solución a la problemática. esto beneficia a la población con discapacidad visual ya que tiene un gran impacto tecnológico y es un dispositivo innovador.

Aspecto 5: Evolución.

La evolución “corresponde al cambio gradual del sistema durante el tiempo” (pág. 276. p1). Lo cual permite llevar un proceso continuo durante el desarrollo del proyecto, con el fin de ir transformando el dispositivo según los resultados de los análisis de pruebas

realizadas y así lograr un producto sostenible, para ello se contemplan cuatro actividades, (prevenir, ajustar, predecir e innovar).

Prevenir.

Permite conocer todo lo relacionado con las recomendaciones para el buen uso del dispositivo y así evitar su deterioro en el menor tiempo posible. Esta actividad plantea algunas preguntas que se resuelven a continuación:

¿El funcionamiento es sostenible?

- El funcionamiento de la solución es sostenible, debido a que no existen artefactos electrónicos similares a nivel nacional que satisfagan esta necesidad. Aunque existen aplicaciones, estas cuentan con suscripciones y deben ser utilizadas desde dispositivos inteligentes.

¿Son claras las responsabilidades del usuario y constructor?

- El usuario debe tener en cuenta las recomendaciones de uso del dispositivo para que este cumpla con su función.
- El fabricante se compromete a entregar un producto garantizado siempre y cuando el dispositivo haya pasado por pruebas que soporten el buen funcionamiento.

¿Los usuarios saben utilizar la solución y que hacer en caso de duda o falla?

- El dispositivo contiene un manual de instrucciones, el cual le permite al usuario comprender su uso. En caso de tener una duda de manejo debe acudir directamente al manual de uso y en caso de tener una falla debe comunicarse con el fabricante.

¿Cuál es el ciclo de vida esperado de la solución?

- Si se tienen en cuenta las recomendaciones de uso, el producto tendría una durabilidad aproximada de 96 meses. Después de este tiempo el usuario podría solicitar un mantenimiento del producto.

Ajustar.

Esta actividad contempla realizar algunos cambios en el dispositivo con el fin de mejorar y corregir fallas en su funcionamiento. Para ello plantea las siguientes preguntas dando respuesta a continuación:

¿la solución es funcional?

- La solución es funcional y cumple con el objetivo propuesto ya que se desarrolló un dispositivo que permite identificar la denominación de los billetes colombianos y fue pensado para la población con discapacidad visual.

¿La solución tiene defectos?

- Aunque el dispositivo es funcional todavía puede presentar algunas fallas de lectura debido a la similitud de color de algunos billetes.

¿La solución podría mejorar su rendimiento con algunos cambios?

La solución podría mejorar su efectividad al momento de hacer la lectura de los billetes con algunos cambios como:

- Cambiar la zona de lectura del billete buscando unificar el color para mejorar la precisión de censado.
- Reducir el orificio donde se ubica el sensor para obtener un área de censado menor con el objetivo de unificar el color.
- Agregar un altavoz que incluya un asistente de voz que les permita escuchar el valor del billete y otras funciones básicas.

Predecir.

Permite anunciar los posibles cambios que el dispositivo pueda presentar en un futuro. Esta actividad plantea las siguientes preguntas:

¿Se prevén cambios científicos o tecnológicos que permitan innovación en la solución?

- Debido a que la tecnología está en constante evolución, se prevén cambios que pueden llegar a permitir la innovación del dispositivo o el desarrollo de otros dispositivos que contribuyan a la necesidad de la población con discapacidad visual en cuanto al manejo del dinero.

¿Existe información formal que permita el mejoramiento en la futura construcción de proyectos similares?

- Se han realizado varias investigaciones alrededor de este tema con diferentes perspectivas y posibles soluciones estas pueden llegar a servir de base o insumo para nuevas investigaciones que involucren el manejo del dinero en personas con discapacidad visual.

Innovar.

Consiste en modificar el dispositivo con el fin de que realice funciones diferentes para el que fue construido. A continuación, se da respuesta a la siguiente pregunta:

¿Existen ideas que permitan crear variaciones en la solución para realizar mejoras o atacar diferentes mercados?

Existen ideas que pueden llegar a crear variaciones en la solución realizando mejoras o desempeñando nuevas funciones que ofrezcan al usuario un uso distinto para el que fue creado el dispositivo. Entre las ideas están:

- Agregar altavoz con asistente de voz
- Lectura de la denominación de las monedas
- Calculadora
- Power bank

Resultados.

Este apartado da a conocer los resultados de las pruebas piloto y de las entrevistas realizadas a las personas con discapacidad visual durante el desarrollo del proyecto, de las cuales se logran identificar las características y requerimientos funcionales para la fabricación del dispositivo lector de billetes.

Las encuestas que se encuentran en el apartado de recolección de datos permiten identificar los requerimientos funcionales para la lectura de la denominación de los billetes colombianos y las características del diseño en cuanto a forma y tamaño requeridos para la fabricación del dispositivo.

Es así como se logra identificar la necesidad de crear un dispositivo lector de billetes ya que según la población entrevistada manifiesta que no existe un dispositivo de fácil acceso que les permita reconocer la denominación de los billetes de manera autónoma al realizar actividades de la vida diaria. Aunque existen aplicaciones para Android y iOS que pueden ser descargadas desde un dispositivo móvil estas requieren de acceso permanente a internet, y necesitan de una suscripción premium anual o mensual para acceder a todos sus beneficios, y no toda la población con discapacidad visual cuenta con los recursos económicos.

Por tal razón al momento de construir el dispositivo lector de billetes se pensó en materiales de calidad y de bajo costo para que así la mayoría de la población con discapacidad visual tengan acceso al mismo.

Por otro lado, en las pruebas piloto se determinó la importancia de que el dispositivo lector de billetes tuviera las siguientes características físicas: La forma, esta se determinó con el fin de que el dispositivo se adaptara a los contornos de la mano; el tamaño, con medidas de 60 mm de base por 30 mm espesor por 75 mm en su longitud para facilitar la portabilidad y agarre del mismo; adaptación de braille, para la identificación del botón de

encendido y marcación de vibraciones según la denominación de los billetes; la carcasa cuenta con una ranura enmarcada por dos topes que permiten la colocación del billete logrando una mayor efectividad al momento de hacer la lectura, por último, la carcasa se caracteriza por tener una combinación de colores que contrasten ya que esto permite el acceso de la lectura de los billetes a la personas con baja visión.

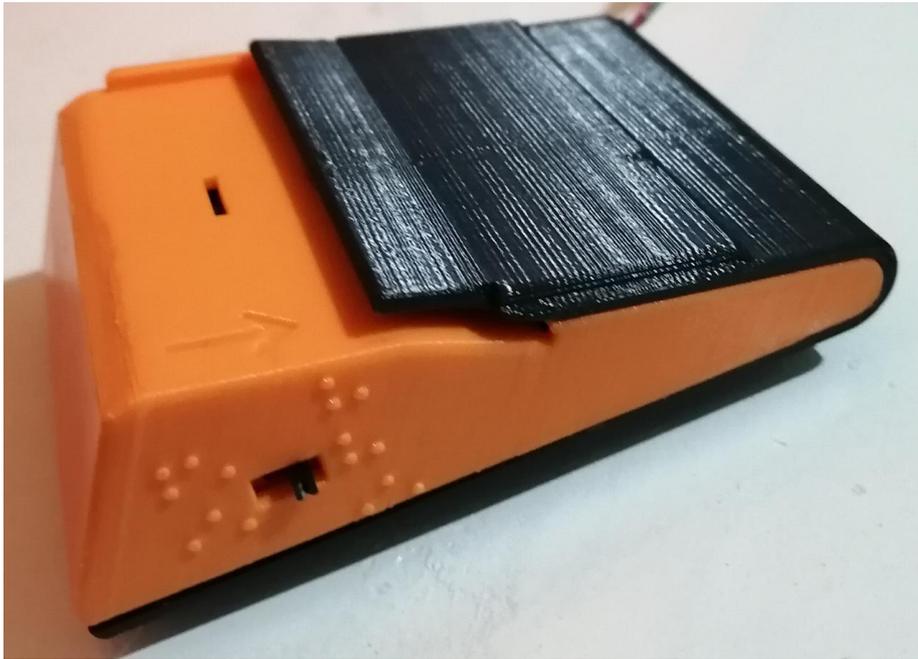
Figura 35

Dispositivo Terminado



Figura 36

Dispositivo Ubicación Billeto



Para su funcionamiento el sensor de color TCS 34725 facilitó la identificación de los colores de los billetes ya que estos cuentan con variedad de tonalidades, en cuanto a la batería de ion de litio 16340 de 2500 mAh permitió que el dispositivo tuviera un tiempo de funcionamiento de alrededor de 7 horas de uso continuo, la programación se hizo a través del software Arduino con el fin de que la tarjeta nano procesara el código y el motor recibiera la información de lectura y emitiera la vibración según la denominación del billete.

Figura 37

Fotografía Pruebas a Usuario



Resultados instrumento de validación

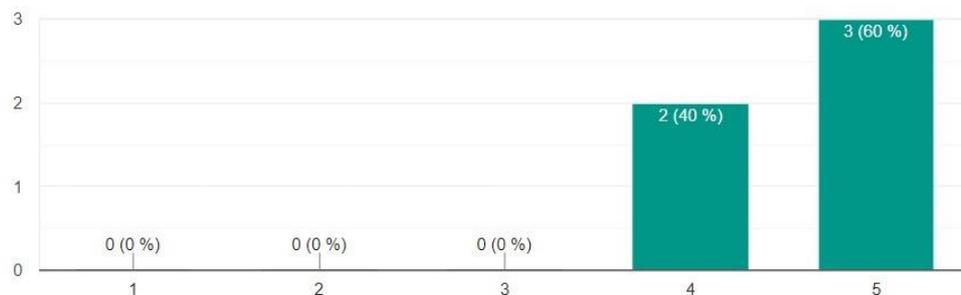
En el anexo C se muestra el instrumento de validación del dispositivo lector de billetes que se implementó con 5 personas con discapacidad visual con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos que satisfacen las necesidades relacionadas con el uso del dinero.

Figura 38

Ítem 1 Instrumento de Validación

1. ¿El dispositivo logra identificar las diferentes denominaciones de los billetes nacionales?

5 respuestas



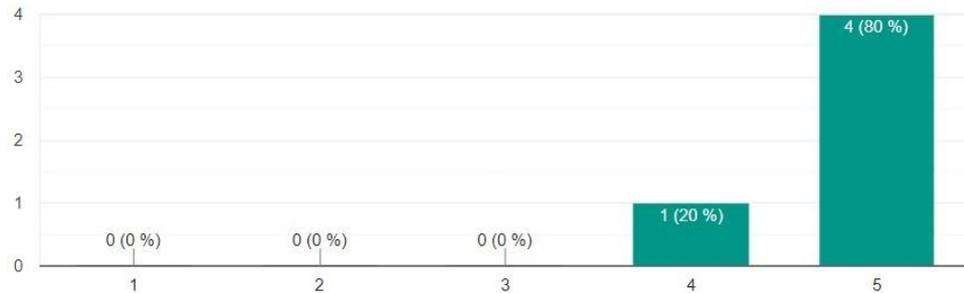
El dispositivo lector de billetes logra identificar las diferentes denominaciones de los nuevos billetes nacionales sin embargo en las observaciones la población encuestada comenta que si no se ubica bien el billete se pueden generar errores de identificación.

Figura 39

Ítem 2 Instrumento de Validación

2. El tiempo que tarda el dispositivo en identificar la denominación del billete es de 5 segundos, ¿le parece el adecuado?

5 respuestas



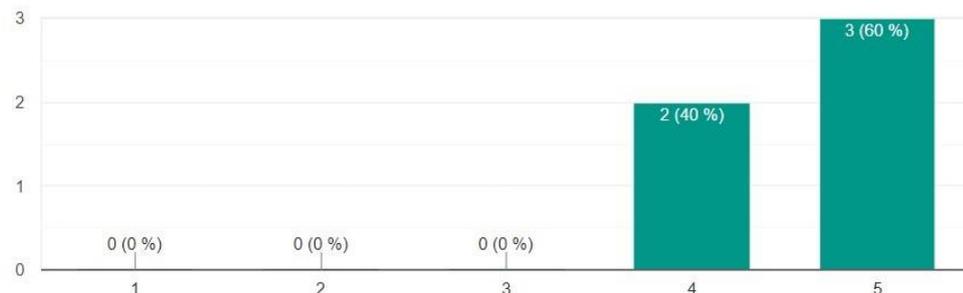
Según las respuestas de las personas encuestadas, el tiempo que emplea el dispositivo para hacer el reconocimiento de cada una de las denominaciones de los billetes es el apropiado debido a su rápida lectura. No obstante, hay que tener en cuenta que el billete este bien ubicado.

Figura 40

Ítem 3 Instrumento de Validación

3. ¿El tipo de vibración con la que cuenta el dispositivo al momento de reconocer la denominación del billete le parece la correcta?

5 respuestas



Las vibraciones del dispositivo se dan según la denominación del billete como se explicó en la tabla 19, sin embargo, las personas con discapacidad visual encuestadas

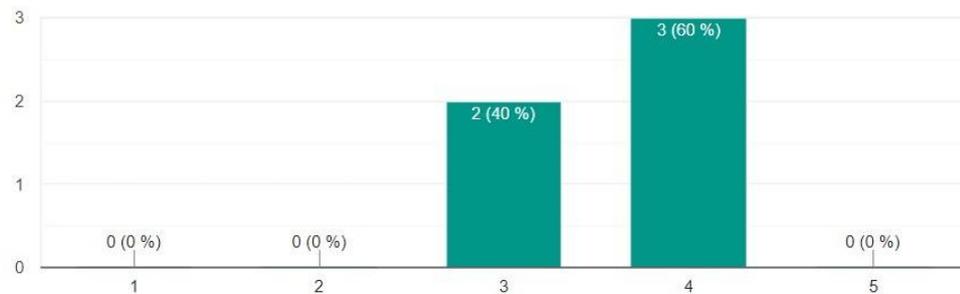
sugieren que el tipo de vibración sea constante, ejemplo: \$2000 una vibración prolongada, \$5000 dos vibraciones prolongadas y así sucesivamente con las demás denominaciones.

Figura 41

Ítem 4 Instrumento de Validación

4. ¿La duración de la vibración para cada una de las denominaciones de los billetes le parece adecuada?

5 respuestas



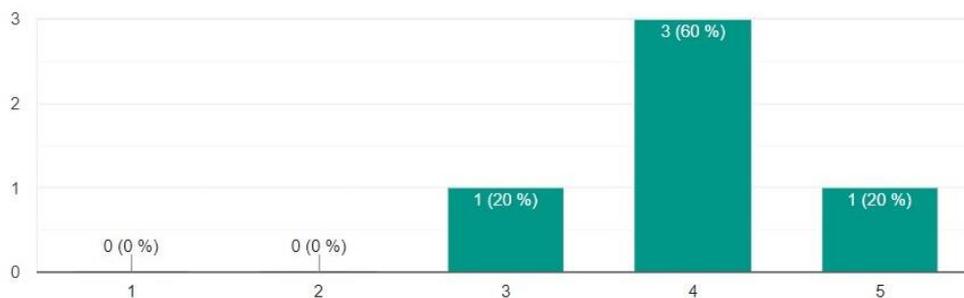
Las personas con discapacidad visual sugieren que se modifique la duración de la vibración (tiempo). Ejemplo: para la denominación del billete de \$2000 la duración de la vibración debería ser de 3 segundos; para la de \$ 5000, 6 segundos y así con las demás denominaciones.

Figura 42

Ítem 5 Instrumento de Validación

5. El precio que tendría el dispositivo es de \$184.500 ¿le parece asequible?

5 respuestas



Las personas encuestadas respondieron que el precio del dispositivo es el adecuado porque se ajusta a sus necesidades y es asequible. Sin embargo, una de ellas sugiere que el precio del dispositivo debería rondar los \$150.000.

Figura 43

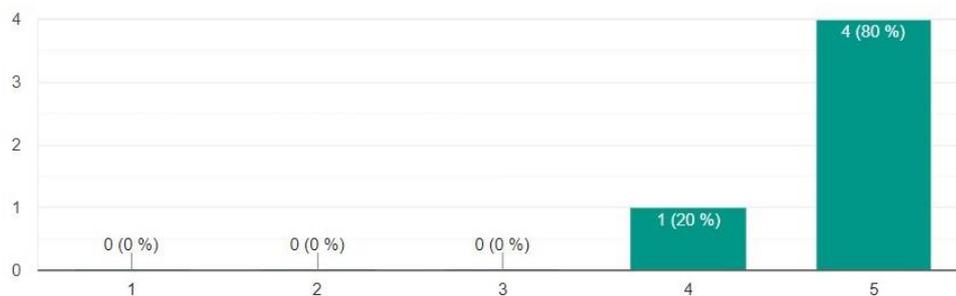
Ítem 6 Instrumento de Validación

La mayoría de las personas encuestadas afirman que es viable que el dispositivo lector de billetes salga al mercado dado que actualmente en Colombia no se comercializan este tipo de ayudas tecnológicas para personas con discapacidad visual.

Figura 44

6. ¿Cree que el dispositivo lector de billetes debería salir al mercado?

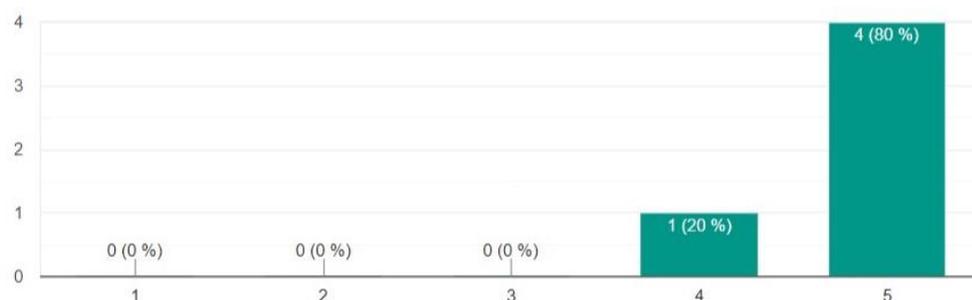
5 respuestas



Ítem 7 Instrumento de Validación

7. ¿El funcionamiento que tiene el dispositivo le parece el correcto?

5 respuestas



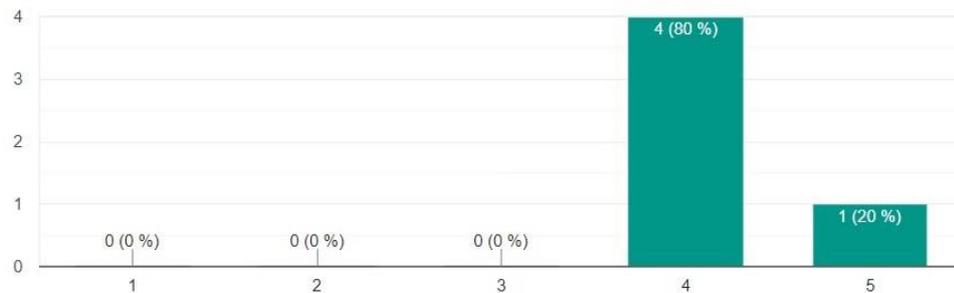
Para la mayoría de las personas entrevistadas, el funcionamiento es correcto, sin embargo, dos de ellas acotan que el funcionamiento debería ser un poco más rápido en cuanto al posicionamiento del billete para facilitar su uso.

Figura 45

Ítem 8 Instrumento de Validación

8. ¿El tamaño y la forma del dispositivo le parecen apropiados?

5 respuestas



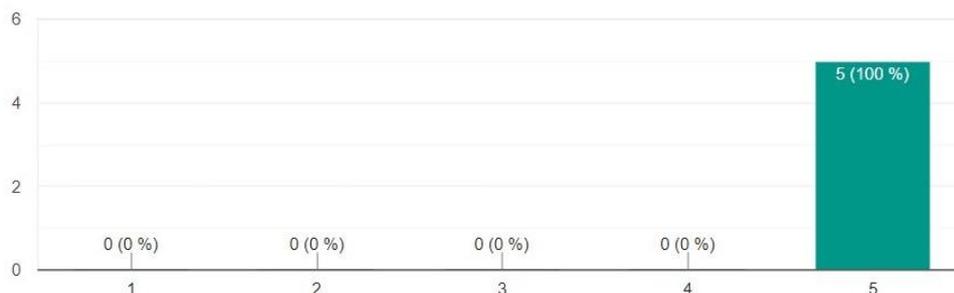
Para las personas con discapacidad visual encuestadas el tamaño del dispositivo lector de billetes cumple con lo esperado aunque en cuanto a su forma sugieren que sea mas delgado.

Figura 46

Ítem 9 Instrumento de Validación

9. ¿Logra percibir y entender la señalética en braille con la que cuenta la carcasa del dispositivo?

5 respuestas



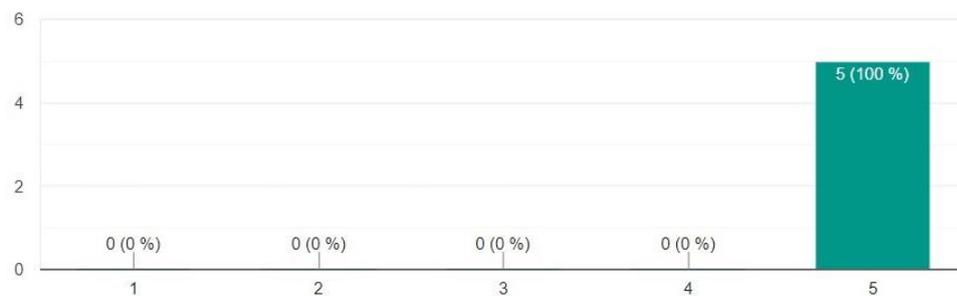
La señalética en braille con la que cuenta el dispositivo es accesible y entendible permitiendo orientar el encendido y apagado del dispositivo. También al momento de utilizar la plantilla de verificación (Plantilla similar a la del INCI).

Figura 47

Ítem 10 Instrumento de Validación

10. El tiempo de uso del dispositivo es de 7,99 horas continuas. ¿La duración de la batería del dispositivo le parece buena?

5 respuestas



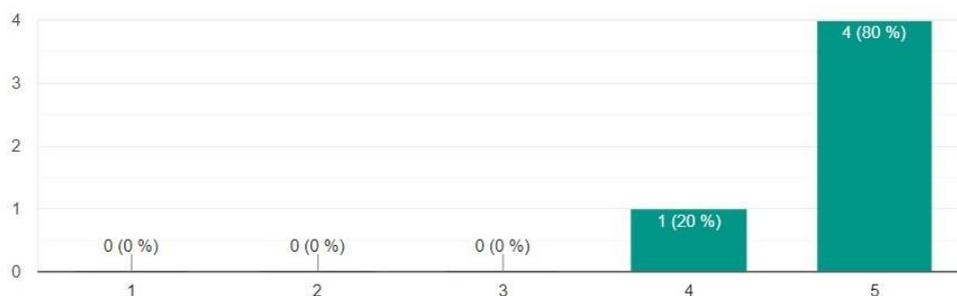
Según las respuestas de las personas entrevistadas, el tiempo de uso del dispositivo es el adecuado dado que la batería es de larga duración permitiendo realizar actividades relacionadas con el manejo del dinero durante el día.

Figura 48

Ítem 11 Instrumento de Validación

11. El tiempo que tarda en cargar el dispositivo en su totalidad es de 1,66 horas. ¿Le parece el adecuado?

5 respuestas



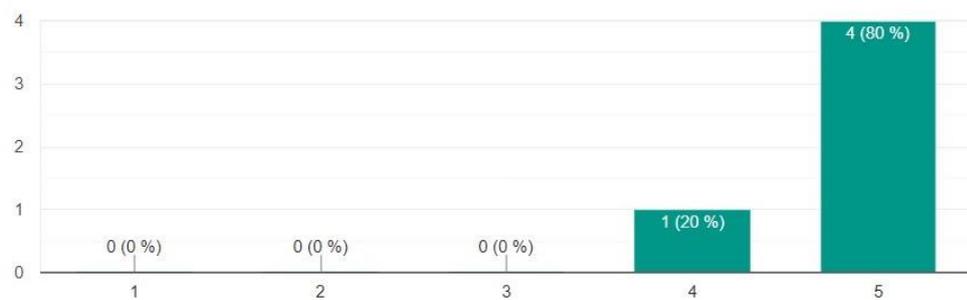
El dispositivo suele cargar totalmente en un corto periodo (aproximadamente 100 minutos) debido a esto las personas con discapacidad visual afirman que este tiempo si es el apropiado.

Figura 49

Ítem 12 Instrumento de Validación

12. ¿Cree que este dispositivo lector de billetes, le seria útil al momento de usar el transporte público?

5 respuestas



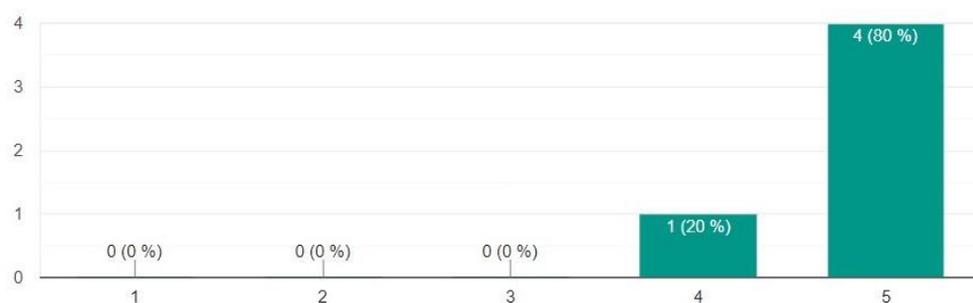
El dispositivo lector de billetes resulta ser una herramienta útil para las personas con discapacidad visual al momento de utilizar el transporte público en Bogotá, debido a que se utilizaría en taquillas o puntos de ventas de pasajes. En ocasiones también para pagar una carrera de taxi.

Figura 50

Ítem 13 Instrumento de Validación

13. ¿Al momento de realizar compras en tiendas, utilizaría el dispositivo lector de billetes?

5 respuestas



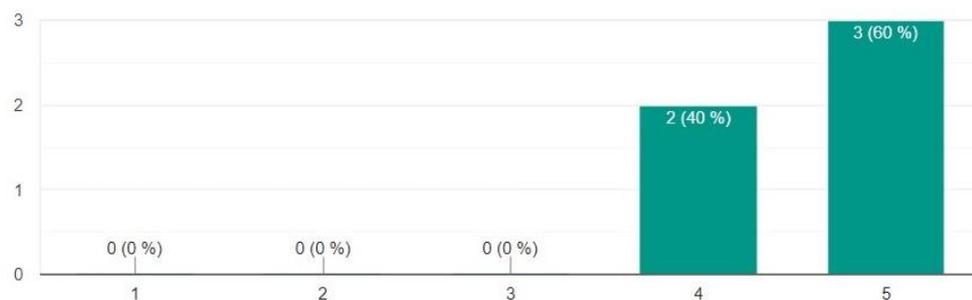
Las personas con discapacidad visual encuestadas afirman que al realizar alguna compra en efectivo harían uso del dispositivo lector de billetes al momento de verificar el pago y recibir el cambio.

Figura 51

Ítem 14 Instrumento de Validación

14. ¿Utilizaría el dispositivo lector de billetes en la realización de otras actividades cotidianas relacionadas con el uso del dinero?

5 respuestas



La población entrevista respondió que al existir un dispositivo de este tipo facilitaría la realización de actividades diarias relacionadas con el uso del dinero y por tal razón lo usarían en todo momento.

De acuerdo con los resultados del instrumento de validación, el dispositivo lector de billetes es una herramienta que favorece a la población con discapacidad visual en la realización de actividades diarias que involucren el uso del dinero. El prototipo del dispositivo diseñado y fabricado por el grupo de investigación ha generado un gran impacto en esta población a causa de ser un dispositivo pensado 100% en ellos y también porque fueron partícipes en el desarrollo de la investigación.

Conclusiones

El aporte principal de este trabajo consistió en diseñar e implementar un prototipo de dispositivo lector de billetes, que facilite el reconocimiento de la denominación de los billetes nacionales para personas con discapacidad visual.

Luego de realizar diferentes pruebas de funcionamiento y usabilidad del dispositivo lector de billetes a personas con discapacidad visual se concluye que:

- Gracias a la metodología empleada se logra determinar los requerimientos funcionales para el diseño y desarrollo del dispositivo lector de billetes nacionales cumpliendo a cabalidad el reconocimiento de los mismos para la población con discapacidad visual al momento de realizar actividades de la vida diaria.
- Se logró categorizar los requerimientos funcionales de acuerdo a las prioridades que tienen las personas con discapacidad visual al momento de identificar la denominación de los billetes nacionales al realizar actividades de la vida diaria.
- Gracias a las pruebas de usuario realizadas durante el desarrollo del proyecto se logra modelar un prototipo que cumple con los requerimientos funcionales al momento de realizar actividades de la vida diaria empleadas por personas con discapacidad visual.
- Para evaluar la funcionalidad del dispositivo tecnológico fue necesario el uso de un instrumento de validación que comprobó el buen funcionamiento y el cumplimiento de los requerimientos, satisfaciendo las necesidades relacionadas con el uso del dinero para las personas con discapacidad visual al momento de realizar actividades de la vida diaria.
- Se consigue modelar un dispositivo tecnológico para el reconocimiento de billetes nacionales con dimensiones que permite ser portable y accesible gracias a los requerimientos funcionales.
- El prototipo del dispositivo lector de billetes construido es una herramienta que facilita el reconocimiento de la denominación de los billetes, debido a que favorece al usuario con discapacidad visual a la realización de actividades diarias que tengan que ver con el uso del dinero como las compras en efectivo, el pago del transporte público, entre otras.

- Mediante las pruebas realizadas a personas con discapacidad visual se logra evidenciar que este tipo de proyectos, son de alto impacto en esta población, promoviendo su interés por la tecnología, debido a que se sienten involucrados en el desarrollo de proyectos que buscan dar solución a sus necesidades.
- El dispositivo cumple con las expectativas del usuario en cuanto a su portabilidad, accesibilidad y tiempo de uso, pero requiere de algunas mejoras en su tamaño y funcionamiento.

Comparación frente a dispositivos existentes e innovación tecnológica.

Según los antecedentes, se observa que existen pocas investigaciones relacionadas con la identificación de billetes para la población con discapacidad visual. Solano en Ecuador desarrolló una investigación sobre un dispositivo lector de billetes y Tamayo en Colombia realizó una investigación sobre un sistema de reconocimiento de billetes, ambos mediante el uso de visión artificial. No obstante, ninguna de las anteriores pensó en las características de la población como el uso de la señalética en braille para facilitar el manejo del dispositivo y la distancia a la que se debe colocar el billete para su posterior lectura, debido a que recomiendan que esté entre los 16 y 29 cm aproximadamente, siendo esto una dificultad para la población con discapacidad visual. Esto quiere decir que las investigaciones nombradas no cumplen con los requerimientos funcionales necesarios para este tipo de población. Por esta razón el desarrollo del dispositivo lector de billetes fue diseñado en base a los requerimientos funcionales que se identificaron al analizar este tipo de población cuando realizan actividades diarias relacionadas con el uso del dinero.

Las herramientas tecnológicas son una fuente de ayuda para realizar diferentes tareas ya sea por medio de hardware o software estas facilitan la realización de actividades en menor tiempo con una misma o mayor eficacia. Al utilizar este tipo de herramientas para el desarrollo e innovación tecnológica se pueden realizar grandes aportes a diferentes tipos de

población. El dispositivo lector de billetes desarrollado durante la investigación es una herramienta de innovación tecnológica que puede llegar a facilitar la realización de actividades diarias frente a la problemática relacionada con el uso del dinero en personas con discapacidad visual. Por esta razón este dispositivo es una solución que satisface esta necesidad.

Recomendaciones

- Para lograr una mejor lectura de los billetes, se debe buscar mejorar la estructura del código fuente puesto que se producen errores de lectura debido a que algunos billetes tienen la misma tonalidad en sus colores.
- Buscar la manera de que el dispositivo pueda ser capaz de realizar el censado del billete sin la utilización de topes.
- Para una mejor portabilidad se recomienda que el dispositivo tenga un menor tamaño (dispositivo más delgado).
- Se deben realizar más pruebas de usuario en diferentes contextos y ciudades para conocer diferentes perspectivas a nivel nacional y así realizar las mejoras correspondientes en el dispositivo.
- Incorporar nuevas funciones al dispositivo, como: sonido (altavoz), lectura de saldo en tarjetas de transporte público, plug para audífonos.

Referencias

(ONCE), O. N. (2011). *Discapacidad visual y autonomía personal Enfoque practico de la rehabilitación*. Madrid: Manuales.

Arduino.co, D. (s.f.). *Arduino Nano Pinout y características*. Obtenido de <https://descubrearduino.com/arduino-nano-pinout/>

Arias Roura, M. E. (2010). *Relaciones interpersonales entre niños con discapacidad visual y sus compañeros videntes en el contexto educativo regular*. Universidad de Cuenca, Ecuador.

Banco de la República de Colombia. (s.f.). Obtenido de <https://www.banrep.gov.co/es/billetes-y-monedas/billetes#gsc.tab=0>

Barro , R., Gutierrez , G., Rojas, j. A., Sanchez , L. M., & Veloza, J. D. (2005). *GRACE. Introducción a la ingeniería*. Bogotá DC: EAN.

Camargo, J., González, L., Segura, D., Garay, F., & Rincón, N. (2017). Orientación de Pasajeros con Discapacidad Visual dentro del Sistema de Transporte Masivo Transmilenio, Mediante Geolocalización Satelital. *Ingeniería*, Vol. 22, no. 2, pp.XXX-XXX.

Collado Rubayo, S., Díez Gonzáles, I., Saéz Santos, M. I., Torrecilla Delgado, F., Poveda Redondo, L., & Poveda Redondo, M. J. (2007). *Discapacidad visualn y destrezas manipulativas*. Madrid: ONCE.

Delgado López, A., Olmedo, E., Tadeu , P., & Fernández Batanero, J. M. (2019). Propuesta de las condiciones de las Aplicaciones móviles, para la construcción de un Entorno de Accesibilidad Personal para usuarios con discapacidad visual en las Smart Cities. *Aula Abierta*, vol 48, no. 2, pp 194-197.

Esparza Maldonado, A. L., Margain Fuentes, A. Y., Álvarez Rodríguez, F. J., & Benítez Guerrero, E. I. (2018). Desarrollo y evaluación de un sistema interactivo para personas con discapacidad visual. *Tecnológicas*, vol. 21, no. 41 pp. 149-157.

Gayón Bernal, C. C. (2017). *Desarrollo de una aplicación para reconocimiento de billetes por medio de procesamiento de imágenes para personas con diversidad visual basada en tecnología Android*. Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá, Colombia.

Guerrero, S., Rodríguez, A., & Romero, G. (03 de Diciembre de 2018). *Banco Mundial Blogs*. Obtenido de Accesibilida e inclusión: dos aspectos clave para las personas

con discapacidad: <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/accesibilidad-e-inclusi-n-dos-aspectos-clave-para-las-personas-con-discapacidad#:~:text=La%20accesibilidad%20es%20un%20punto,e%20interactuar%20con%20sus%20contenidos.>

Impresoras3d.com. (3 de Enero de 2018). *Filamento PLA: consejos, características y mucho más*. Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/>

Mariche Catana, J., Montero Valverde, J. A., Hernández Reyna, R., & Gazga Portillo, J. F. (2017). Aplicación basada en Android para identificar papel moneda mexicano. *Pistas Educativas*, vol. 39, no. 126, pp 160-171.

Muñoz Sevilla, J. A. (2012). Las TIC y la discapacidad visual. *Centro de investigación Desarrollo y Aplicación tiflotécnica (ONCE)*, 293-308. ONCE. (2011). Capítulo 2. Discapacidad visual e incidencia en la autonomía. En O. N. Españoles, *Discapacidad visual y autonomía personal Enfoque práctico de la rehabilitación* (pág. 104). Madrid: Manuales.

OMS. (agosto de 2014). *10 datos sobre la ceguera y la discapacidad visual*. Obtenido de <https://www.who.int/features/factfiles/blindness/es/>

Pedrosa, S. J. (s.f.). *Economipedia.com*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/billete.html>

Peña Suárez, D., & Hurtado Panchi, Á. (2017). *Diseño e implementación de un aplicativo que reconozca el valor de los billetes para discapacitados visuales usando un Smartphone con sistema operativo Android*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ecuador.

plugandplay, E. (s.f.). *Modulo sensor de color RGB TCS34725*. Obtenido de <https://www.electronicaplugandplay.com/sensores-y-transductores/product/492-mod-sens->

Torres Gil, A. J. (2014). *Los dispositivos tecnológicos cotidianos como objeto de enseñanza. Estudio de la problemática inherente a su elaboración como materiales de aula*. Granada: Editorial de la universidad de Granada .

Vistrónica, t. v. (s.f.). *Micro Motor Vibrador Redondo 1027*. Obtenido de https://www.vistronica.com/es/robotica/motores/micro-motor-vibrador-redondo-1027-detail.html?product_rewrite=micro-motor-vibrador-redondo-1027

Zambrano, D. M., Daza Álava, Y. D., Zambrano Pinargote, J. D., & Lituma Ramírez, E. D. (2019).

ANEXOS

Anexo A (Encuesta 1)

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA - DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN DISEÑO TECNOLÓGICO**

ENCUESTA-DISPOSITIVO LECTOR DE BILLETES

El propósito de esta encuesta es comprender cómo hacen las personas ciegas para reconocer los billetes colombianos.

Esta encuesta consta de nueve preguntas que tomará aproximadamente 5 minutos de su tiempo, agradecemos su disposición y tiempo para responder las preguntas. Adicionalmente la información que se recogerá será confidencial y no se usará para otros propósitos fuera de esta.

Consentimiento informado

Yo _____ acepto participar voluntariamente de esta encuesta realizada por WILBER YAMITH DUARTE VARGAS Y DIEGO ARMANDO ROJAS CASTAÑEDA, sabiendo de conformidad cual es el propósito del estudio. Estos datos serán confidenciales y no se usarán para otro propósito fuera de la investigación.

1. ¿Se le facilita reconocer billetes? ¿sí? ¿no? Si su respuesta es no explique el porqué

2. ¿Qué consideraciones tendría usted a la hora de identificar un billete?

3. ¿De qué manera usted puede diferenciar la denominación de los billetes?

4. ¿Ha sido objeto de algún engaño frente a billetes falsos?

5. ¿De qué manera realiza el reconocimiento de este tipo de billete?

6. ¿Conoce alguna aplicación o dispositivo que permita la identificación de billetes? ¿Si su respuesta es sí ¿cuál o cuáles conoce?

7. ¿Encuentra necesario la creación de un dispositivo para reconocer los billetes? ¿sí? ¿no? Si su respuesta es no explique el porqué

8. ¿Cree que se deben desarrollar más proyectos tecnológicos enfocados al reconocimiento de billetes?

Anexo B (Código fuente)

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"
#include "ColorConverterLib.h"
int moto =12;
int led=5;

Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725 (TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS,
TCS34725_GAIN_1X);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  pinMode(moto, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);

  if (!tcs.begin())
  {
    Serial.println("Error al iniciar TCS34725");
    while (1) delay(1000);
  }
}

void loop()
{
  analogWrite(led, 100);

  uint16_t clear, red, green, blue;

  tcs.setInterrupt(false);
  delay(60); // Cuesta 50ms capturar el color
  tcs.getRawData(&red, &green, &blue, &clear);
  tcs.setInterrupt(true);

  // Hacer rgb medición relativa
  uint32_t sum = clear;
  float r, g, b;
  r = red; r /= sum;
  g = green; g /= sum;
  b = blue; b /= sum;

  // Escalar rgb a bytes
  r *= 256; g *= 256; b *= 256;

  // Convertir a hue, saturation, value
  double hue, saturation, value;
  ColorConverter::RgbToHsv(red, green, blue, hue, saturation, value);
```

```

// Mostrar nombre de color
printColorName(hue * 360);

delay(1000);
}

void printColorName(double hue)
{
  if (hue < 0)
  {
    else if (hue < 16)
    {
      Serial.println("16 2000");
      digitalWrite(moto, HIGH);
      delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
      delay(100);
    } else if (hue < 18)
    {
      Serial.println("18 2000");
      digitalWrite(moto, HIGH);
      delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
      delay(100);
    } else if (hue < 20)
    {
      Serial.println("20");
    } else if (hue < 22)
    {
      Serial.println("22 10000");
      digitalWrite(moto, HIGH);
      delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
      delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
      delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
      delay(100);
      digitalWrite(moto, HIGH);
      delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
      delay(1000);
    } else if (hue < 34)
    {
      Serial.println("34 50000");
      digitalWrite(moto, HIGH);
      delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
      delay(100);
    }
  }
}

```

```

digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 44)
{
    Serial.println("44 2000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
} else if (hue < 46)
{
    Serial.println("46 2000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
} else if (hue < 48)
{
    Serial.println("48 10000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 50)
{
    Serial.println("50 2000");
    digitalWrite(moto, HIGH);

```

```

        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
    } else if (hue < 52)
    {
        Serial.println("52 2000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
    } else if (hue < 54)
    {
        Serial.println("54 2000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
    } else if (hue < 56)
    {
        Serial.println("56");
    } else if (hue < 58)
    {
        Serial.println("58 2000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
    } else if (hue < 60)
    {
        Serial.println("60 2000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
    } else if (hue < 62)
    {
        Serial.println("62 2000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
    } else if (hue < 64)
    {
        Serial.println("64");
    } else if (hue < 66)
    {
        Serial.println("66 20000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    }
}

```

```

digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 68)
{
    Serial.println("68 20000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 100)
{
    Serial.println("100 5000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(1000);
} else if (hue < 102)
{
    Serial.println("102 5000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);

```

```

    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 118)
{
    Serial.println("118 20000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 120)
{
    Serial.println("120 20000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 121)
{
    Serial.println("121");
} else if (hue < 124)
{

```

```

    Serial.println("124 10000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 126)
{
    Serial.println("126 10000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 128)
{
    Serial.println("128");
} else if (hue < 130)
{
    Serial.println("130 10000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 132)
{
    Serial.println("132 10000");

```

```

    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 140)
{
    Serial.println("140 50000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 142)
{
    Serial.println("142 50000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);

```

```

        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 145)
{
    Serial.println("145");
} else if (hue < 146)
{
    Serial.println("146");
} else if (hue < 148)
{
    Serial.println("148 50000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 174)
{
    Serial.println("174 50000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
    digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);

```

```

    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 176)
{
    Serial.println("176 50000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
} else if (hue < 206)
{
    Serial.println("206 20000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
    delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);

```

```

        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(1000);
    } }else if (hue < 270)
    {
        Serial.println("270 50000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
        digitalWrite(moto, LOW);
            delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
            delay(100);
        digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
            delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
            delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
            delay(1000);

    }else if (hue < 280)
    {
        Serial.println("280 5000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
        digitalWrite(moto, LOW);
            delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
        digitalWrite(moto, LOW);
            delay(1000);
    }else if (hue < 282)
    {
        Serial.println("282 5000");
        digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
        digitalWrite(moto, LOW);
            delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
            delay(300);
    }

```

```

digitalWrite(moto, LOW);
    delay(1000);
}else if (hue < 306)
{
    Serial.println("306 5000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(1000);
}else if (hue < 308)
{
    Serial.println("308 5000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(1000);
}else if (hue < 310)
{
    Serial.println("310 5000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(1000);
}else if (hue < 318)
{
    Serial.println("318 20000");
    digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);

```

```
        delay(100);
digitalWrite(moto, HIGH);
        delay(300);
digitalWrite(moto, LOW);
        delay(1000);
    }
    else
    {
        Serial.println("no hay color");
    }
}
```

Anexo C (Instrumento de validación)

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA - DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
LICENCIATURA EN DISEÑO TECNOLÓGICO

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DISPOSITIVO LECTOR DE BILLETES

Este instrumento va dirigido a personas con discapacidad visual con el fin de validar la funcionalidad y el uso del prototipo del dispositivo lector de billetes.

Nombre del entrevistado: _____

La siguiente lista de chequeo se enumeran 7 ítems donde 1 es la calificación más baja y 5 la más alta. El presente instrumento de validación es usado únicamente con fines educativos, recolectando la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

	Ítems	Califique De 1 a 5	Recomendación/Observación					
1	El dispositivo logra identificar las diferentes denominaciones de los billetes nacionales.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
2	El tiempo que tarda el dispositivo en identificar la denominación del billete es de 5 segundos, ¿le parece el adecuado?.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
3	El tipo de vibración con la que cuenta el dispositivo al momento de reconocer la denominación del billete le parece la correcta.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
4	La duración de la vibración para cada una de las denominaciones de los billetes le parece adecuada.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
5	El precio que tendría el dispositivo es de \$184.500 ¿le parece asequible?.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
6	Cree que el dispositivo lector de billetes debería salir al mercado.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
7	El funcionamiento que tiene el dispositivo le parece el correcto.	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				



8	El tamaño y la forma del dispositivo le parecen apropiados.	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
9	Logra percibir y entender la señalética en braille con la que cuenta la carcasa del dispositivo.	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
10	El tiempo de uso del dispositivo es de 7,99 horas continuas. ¿La duración de la batería del dispositivo le parece buena?	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
11	El tiempo que tarda en cargar el dispositivo en su totalidad es de 1,66 horas. ¿Le parece el adecuado?	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
12	Cree que este dispositivo lector de billetes, le sería útil al momento de usar el transporte público.	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
13	Al momento de realizar compras en tiendas, utilizaría el dispositivo lector de billetes.	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				
14	Utilizaría el dispositivo lector de billetes en la realización de otras actividades cotidianas relacionadas con el uso del dinero.	<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5				