

Actuador electromagnético para un despliegue táctil 2.5D bajo el principio de frenado de pines



Universidad
del Cauca

Anteproyecto de Trabajo de Grado
Modalidad: Trabajo de Investigación

Franklin Stiven Pérez Perafán

104716021008

Cruz Dilmer Mancilla

104716021372

Director:

PhD. Carlos Alberto Gaviria López

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, julio de 2022

Índice general

1. Introducción.....	4
2. Planteamiento de problema	5
3. Estado del arte.....	6
3.1. Aplicaciones de los despliegues táctiles de pines	6
3.2. Debilidades presentes en la construcción de despliegues táctiles de pines	7
3.3. Mecanismos para el control de los pines propuestos.....	7
3.4. Brechas de investigación.....	8
4. Objetivos.....	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos.....	9
5. Actividades y cronograma.....	10
6. Cronograma de actividades	13
7. Recursos, presupuesto y fuentes de financiación.....	15
8. Condiciones de entrega	16
6. Bibliografía	17

1. Introducción

La OMS considera ciego a aquel individuo que no logra obtener en sus dos ojos, ni con aparatos ópticos una corrección en su agudeza visual según la escala de Wecker menor a 0.1. Debido a esto, el individuo con discapacidad visual recibe información limitada o nula acerca de las cosas y las personas que lo rodean; esta situación antepone barreras en edades más tempranas y trae como consecuencia el atraso escolar en edades más avanzadas [1]. Por esta razón es necesario que las personas con este tipo de discapacidad gocen de sus derechos y participen como miembros activos de la sociedad, así mismo que participen en espacios sociales básicos tales como los de educación, salud y trabajo. Según la CIF, la participación social de las personas con discapacidad depende de su accesibilidad al entorno [2]. Por esto los gobiernos, incluido el colombiano han acogido políticas de inclusión para asistir con calidad, propiedad y equidad a las necesidades que presenta la población con discapacidad visual [3]. Considerando que en Colombia en datos estadísticos calculados por el DANE para el 2018, de un total de 3.134.036 personas con discapacidad, 1.948.332 tienen discapacidad visual (no necesariamente ceguera), lo que equivalente al 62.17% de esta población y al 7.1% de la población total colombiana [4]. Por lo tanto, es una población relativamente grande la cual requiere gran atención y a la que se debe facilitar su inclusión en la sociedad.

En el ámbito tecnológico se han propuesto diversos dispositivos para asistencia a población con discapacidad visual. Estos dispositivos buscan proveer soluciones a diversas problemáticas entre las que se encuentran la orientación, el acceso a información, o la movilidad. En particular, las ayudas para acceso a información a su vez se pueden clasificar en hápticas, táctiles, acústicas o mixtas. Este proyecto aborda el problema de la asistencia para el acceso a información gráfica (no lingüística) por medio de dispositivos hápticos, entendiendo que un dispositivo de asistencia háptico es aquel que permite substituir el sentido de la vista con el sentido del tacto para recolectar información acerca del mundo exterior a través de movimientos activos de las manos [5].

2. Planteamiento de problema

Con el fin de permitir a las personas con discapacidad visual participar en distintos espacios de la vida cotidiana se han desarrollado varias tecnologías; muchas ayudas se soportan en el lenguaje Braille que en su origen buscaba solución al problema de transmitir información a través de documentos tradicionales en papel. Esta tendencia ha llevado a problemáticas tales como la representación de caracteres pequeños, información retrasada, tamaños grandes y voluminosos, entre otras. Es así como en la era de la información, los documentos en papel con caracteres Braille y gráficos tangibles no son adecuados para la misión de difundir información [6] y ha llevado a la necesidad de la construcción de despliegues táctiles como interfaz de comunicación entre personas videntes y personas con discapacidad visual.

Según [5], los despliegues táctiles se clasifican en dos categorías: i) los despliegues Braille, donde la tecnología electromecánica permite la transmisión de información lingüística basada en la ubicación de puntos o vibraciones para la lectura; ii) los despliegues para transmitir información no lingüística tales como gráficos palpables, gráficos 3D o realidad virtual. Los dispositivos Braille son los únicos despliegues táctiles que han logrado una masificación comercial, usan arreglos de pines y los despliegues son refrescables. Los actuadores de despliegues Braille usan materiales piezoeléctricos bimórficos (dos posiciones); a diferencia de otros diseños de actuadores tales como actuadores de solenoides, los piezoeléctricos habilitan una alta densificación con bajo consumo de potencia y como tales, han sido aplicados en despliegues táctiles de muchos dispositivos de sustitución sensorial de despliegues táctiles portables. No obstante, su naturaleza permite a los pines adoptar solo dos posiciones [5], lo que limita su aplicación cuando la información es no lingüística y en particular si es del tipo gráfica en 3D.

Los despliegues en 2.5D a pesar de que tienen ventajas y desventajas en cuanto a la resolución, pueden recuperar alguna información de profundidad de los objetos que se pierde en las representaciones 2D y pueden proporcionar un enfoque prometedor para permitir la comprensión de objetos 3D [7]–[10]. La mayoría de los enfoques para diseñar estos despliegues se han basado en un actuador individual por pin y han utilizado actuadores electromecánicos [17], [21]–[23] aleación con memoria de forma [11], piezoeléctricos [12] y tecnologías de actuación hidráulicas [13]. Si bien una pequeña cantidad de sistemas de visualización de forma han empleado frenos mecánicos [14] o de cambio de fase [15], estos sistemas han sido difíciles de fabricar o tienen frecuencias de actualización largas.

De lo anterior se concluye que la principal limitante para que las matrices de pines que permitan representaciones 2.5D se vuelva una solución de amplia difusión, es la actuación de los pines. En [26] se presenta un concepto de actuación por frenado electrostático de los pines, el cual permite el uso de un solo motor para elevar un grupo de pines, para luego dejarlos caer por efecto de gravedad, frenando la caída individual de cada pin de forma controlada mediante placas de circuito impreso que producen una fuerza electrostática. Esta idea resulta interesante por la reducción de elementos costosos de actuación, aunque las fuerzas de frenado que se logran son pequeñas, y está ideada para gobernar pines pequeños. La fuerza de frenado podría incrementarse si se utilizan combinaciones de imán permanente y electroimanes, la cual es la hipótesis principal de esta propuesta de investigación.

La pregunta de investigación en esta propuesta es ¿qué características debe tener un mecanismo de actuación electromagnética para lograr el frenado individual de pines en una posición controlada, en un prototipo de despliegue táctil que se pueda explorar con las manos en lugar de con la yema de los dedos?

3. Estado del arte

En este texto se tratará el tema de despliegues táctiles de pines. Un despliegue táctil basado en pines es un dispositivo háptico que permite representar información en forma de relieve al controlar la altura de sus pines, creando una superficie que el usuario puede explorar con sus manos o con sus dedos [10].

El propósito del presente estado del arte es conocer qué usos se le pueden dar a los despliegues táctiles de pines, qué características son importantes para la construcción de una matriz de despliegue táctil de pines, qué mecanismos para el control de los pines se han propuesto en despliegues táctiles de pines, y qué brechas de investigación se detectaron en la literatura para los despliegues táctiles. Utilizando un procedimiento de búsqueda sistemática para responder a esos interrogantes, los resultados de la búsqueda se organizan en las siguientes 4 secciones.

3.1. Aplicaciones de los despliegues táctiles de pines

Las matrices o despliegues táctiles de pines se presentan como una ayuda fundamental para las personas con discapacidad visual, pues les permite acceder de una manera eficiente, autónoma y conveniente a la información visual a través del tacto, esta información puede presentarse en forma de texto o de información gráfica [6], [10], [16]–[23], permitiendo así disminuir la brecha de adquisición de información que existe entre las personas sin discapacidad visual y las personas con discapacidad visual [19].

La mayoría de las aplicaciones de matrices táctiles de pines están diseñadas para transmitir información lingüística; sin embargo, otras aplicaciones van más allá y logran que las matrices sean despliegues más útiles y dinámicos que permiten a las personas con discapacidad visual actividades tales como: reconocer y dibujar figuras a través de comentarios [24], u obtener asistencia en la localización espacial resolviendo tareas de orientación y movilidad [23].

Algunas aplicaciones menos convencionales de despliegues táctiles se han encontrado en juegos serios (pong táctil para personas con discapacidad visual), colaboración remota entre usuarios videntes y usuarios con discapacidad visual [25], y aplicaciones que permiten a personas con discapacidad visual el complementar la programación de modelos 3D aprovechando la salida de baja resolución de una pantalla 2.5D [26]. Otro ejemplo es el enriquecimiento de experiencias del usuario a través de dispositivos móviles, pues el conjunto de interacciones tácticas y hápticas mejoran la inmersión en distintas aplicaciones, pudiendo la matriz servir como un control unido al dispositivo móvil [27]. Algunas aplicaciones buscan la representación de una forma en la matriz, como un círculo, una sonrisa, una estrella, entre otros [28]. Otro de los usos de las matrices táctiles de pines es la representación de formas hápticas enriquecidas, estas formas son ideales para aplicaciones inmersivas en realidad virtual [10], [29].

3.2. Debilidades presentes en la construcción de despliegues táctiles de pines

En esta sección se van a analizar las características de las interfaces actuales que son de mejora en los despliegues táctiles de pines; los dispositivos de visualización de formas (matrices táctiles de pines) comerciales tienden a ser costosos debido a la complejidad de actuación de la alta densidad espacial de actuadores necesarios [42]. Por esta razón algunos artículos consultados consideran que los mecanismos de actuación de los despliegues táctiles son un factor importante para optimizar, pues un bajo costo permitirá la implementación de dispositivos más grandes que representen más información [10], [18], [24].

Algunas aplicaciones para las matrices táctiles de pines demandan que se permita mostrar información en cualquier lugar, es decir que los dispositivos sean portátiles; aplicaciones como la representación de información gráfica táctil de parte de un usuario con discapacidad visual hacia un usuario vidente; por lo que se hace necesario que las matrices sean compactas y ligeras [24], [25].

El tamaño es un componente importante en dispositivos comerciales, aun así, en los artículos descritos no se usa un tamaño específico o particular, esto debido a que los dispositivos no se crean con fines comerciales si no como prototipos. Basándonos en la funcionalidad del dispositivo podemos asignarle un tamaño, una pantalla háptica para mostrar información idealmente debería tener el tamaño de una tableta, capaz de actualizar la información gráfica en pocos segundos [21].

Muy pocos artículos de desarrollo de matrices táctiles de pines con propósitos no lingüísticos describen características tales como tamaño y distribución de pines [10], [12]. Esto se explica porque en el caso de despliegues Braille, los arreglos de pines siguen una configuración preestablecida y la percepción de usuarios ha sido evaluada por años, existiendo varios referentes de tipo comercial disponibles. No es así el caso de despliegues para gráficos, y mucho menos en el caso de gráficos 3D en matrices 2.5D, que es un tema de desarrollo reciente.

3.3. Mecanismos para el control de los pines propuestos

Los actuadores piezoeléctricos son la tecnología que encabeza los mecanismos de control de posición de los pines en las matrices refrescables, ya que logran una buena confiabilidad, debido a la complejidad moderada de los elementos mecánicos, las tasas de actualización rápidas y el bajo consumo de energía [37]. Sin embargo, su uso en aplicaciones gráficas se limita a la representación de información en 2D. Un resumen de los mecanismos de actuación encontrados para los despliegues táctiles de pines refrescables son:

- Frenos adhesivos electrostáticos [10]: los autores reemplazaron actuadores lineales con un circuito de estado sólido de alto voltaje, esto con el fin de reducir el costo y la complejidad del dispositivo; se logró un tiempo de actualización de 37.5 ms y una fuerza de carga dinámica de 76,3 gf en cada freno.
- Actuadores piezoeléctricos [12]: se buscó enriquecer la experiencia de usuarios de smartphones a través de interacciones táctiles y hápticas por medio de una interfaz háptica que consta de pines en el costado de la pantalla; como resultado se logró un aumento de la experiencia de la interacción táctil proporcionando prestaciones físicas dinámicas, medidas a través de experimentos psicofísicos sobre la percepción.

- Deformación térmica de materiales [17]: se desarrolló un micro accionador que fue integrado en una pantalla táctil portátil para proporcionar contenido de texto e información gráfica para personas con discapacidad a través del sentido del tacto. Las mediciones de la deformación del taxel revelaron un desplazamiento total de 50 μm cuando se aplica una tensión de 2,4 V en los terminales del taxel.
- Actuadores electromagnéticos [16], [18], [19], [20], [21], [29]: estos artículos muestran que los actuadores electromagnéticos son por excelencia usados en pantallas brailles actualizables; ya que de forma particular usan como mecanismo de actuación un solo actuador electromagnético, movido en un control deslizante lineal, el cual es capaz de actualizar una fila completa de pines pasivos, donde cada pin consta de un cilindro de metal simple que puede reconfigurarse en un estado bajo o alto mediante un campo magnético externo. Esta solución separa el costo del dispositivo de la cantidad de pines y celdas braille. Usando este mecanismo de actuación se consiguen tiempos de actualización del orden de los ms con consumos de potencia menores a 1W

3.4. Brechas de investigación

Con base en la literatura encontrada, es posible establecer que la mayoría de despliegues táctiles desarrollados para brindar apoyo a personas con discapacidad visual, son ideadas para la transmisión de información lingüística, en donde la tecnología ha logrado un alto nivel de desarrollo, facilitado por las extensiones del lenguaje Braille que puede representarse fácilmente mediante pines que adoptan solo dos posiciones, donde los actuadores piezoeléctricos son ideales por tamaño, costo y posibilidad de gran densidad espacial con poco consumo de potencia.

En el campo de la información no lingüística, existen diferentes propuestas de actuación que buscan mejorar el rendimiento del dispositivo, especialmente en el caso de la transmisión de información gráfica en 3D. Como intermedio entre la representación 2D (adecuada para dispositivos tipo Braille) y la información 3D (cuya adquisición y transmisión es de gran complejidad tecnológica), surgen los despliegues 2.5D que permiten transmitir, aunque de forma limitada, alguna información de profundidad necesaria para la comprensión de la información. Este campo es muy reciente (2018), su desarrollo está a nivel de prototipos y no ha logrado una popularización comercial, razón por la cual existen vacíos importantes en la literatura que van desde la optimización de los elementos de actuación de pines, a la evaluación por usuarios finales de parámetros tales como la distribución y tamaño de los pines a usar.

En particular, el aspecto más relevante para el logro de la masificación de las interfaces 2.5D es el logro de mecanismos de actuación que sean lo suficientemente pequeños, con bajo consumo de potencia, tales que permitan el logro de una buena densidad de pines en superficies razonablemente pequeñas.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general.

Proponer un mecanismo de actuación para el frenado controlado de la caída de pines de un prototipo de despliegue táctil 2.5D que se explore con las manos, usando el principio de frenado electromagnético.

4.2. Objetivos específicos

- Construir un prototipo de despliegue táctil de baja densidad de pines, útil para la representación 2.5D de patrones gráficos.
- Diseñar un mecanismo de actuación para el refresco de los pines en posiciones controladas utilizando el principio de frenado electromagnético.
- Evaluar parámetros de desempeño del mecanismo propuesto en cuanto a consumo de potencia, velocidad de refresco y fuerza de frenado logrados.

5. Actividades y cronograma

Para el logro de los objetivos planteados se planea una estrategia metodológica de desarrollo en cascada por fases, donde las fases se definen como:

1. Fase conceptual

En esta fase se busca comprender los fundamentos de diseño de dispositivos para el despliegue táctil de pines en la literatura.

2. Fase de diseño

Proponer el diseño de un despliegue táctil de pines con un actuador electromagnético que permita el frenado de pines.

3. Fase de construcción

Construir una matriz de despliegue táctil de pines donde el hardware/software pueda realizar un frenado de estos.

4. Fase analítica

Analizar pruebas de desempeño del mecanismo de frenado propuesto.

5. Fase de difusión

Comunicación de resultados. Esta fase no es secuencial.

Tabla 1. *Tabla de actividades del proyecto.*

Objetivo	Fases	Actividades	Herramientas	Entregables
Diseñar un prototipo de despliegue táctil de baja densidad de pines, útil para la representación 2.5D de patrones gráficos	Fase conceptual	1. Revisar bibliografía necesaria para conocer características que sean convenientes para el diseño de un despliegue táctil.	Mapeo sistemático en artículos científicos y libros especializados	Capítulo de monografía que presenta el marco teórico elaborado.
		2. Construir un marco teórico sobre parámetros y características técnicas a incluir en el prototipo de la interfaz táctil.		
		3. Analizar las características y el diseño de actuación de los mecanismos de frenado de pines en matrices 2.5D.		
	Fase de diseño	4. Proponer un diseño para sistemas de actuación de pines.	Software CAD para modelado en 3D	Diseño CAD
		5. Proponer un diseño para el despliegue táctil de pines.		

Construir un mecanismo de actuación para el refresco de los pines en posiciones controladas utilizando el principio de frenado electromagnético.	Fase de construcción	6. Probar un conjunto de potenciales mecanismos de frenado electromagnético.	Fabricación digital, herramientas de prototipado electrónico	Prototipo funcional de actuación de pines.
		7. Perfeccionar uno de los mecanismos de frenado a nivel de prototipo de laboratorio.		
		8. Construir el hardware y software necesario para la actuación del mecanismo de frenado		
		9. Construir un prototipo de interfaz táctil a escala de laboratorio de acuerdo con el marco teórico establecido en la fase conceptual.		
Evaluar parámetros de desempeño del mecanismo propuesto en cuanto a consumo de potencia, velocidad de refresco y fuerza de frenado logrados.	Fase analítica	10. Establecer un protocolo e instrumentación para la medición de las variables a evaluar.	Teoría de medidas físicas, cálculo de error de medidas.	Capítulo en la monográfica donde se presenta la medición de las variables.
		11. Comparar valores medios de los parámetros a evaluar con referentes en la literatura sobre interfaces similares.	Análisis estadístico de valores medios y dispersión, búsqueda sistemática en la literatura.	Capítulo en la monografía de reporte de experimentos

6. Cronograma de actividades

Objetivo	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	1. Revisar bibliografía necesaria para conocer características convenientes para el diseño de un despliegue táctil.	■	■	■																																	
	2. Construir un marco teórico sobre parámetros y características técnicas a incluir en el prototipo de la interfaz táctil.			■	■	■	■	■																													
	3. Analizar las características y el diseño de actuación de los mecanismos de frenado de pines en matrices 2.5D.						■	■	■	■																											
	4. Proponer un diseño para el sistema de actuación de pines.									■	■	■	■																								
	5. Proponer un diseño para el despliegue táctil de pines.													■	■	■	■																				
2	6. Probar un conjunto de potenciales mecanismos de frenado electromagnético.													■	■	■	■	■																			
	7. Perfeccionar uno de los mecanismos de frenado a nivel de prototipo de laboratorio.																	■	■	■	■																
	8. Construir el hardware y software necesario para la actuación del mecanismo de frenado																				■	■	■	■	■												
	9. Construir un prototipo de interfaz táctil a escala de laboratorio de acuerdo con el marco teórico establecido en la fase conceptual.																								■	■	■	■	■								
3	10. Establecer un protocolo e instrumentación para la medición de las variables a evaluar.																												■	■	■	■					

11. Comparar valores medios de los parámetros a evaluar con referentes en la literatura sobre interfaces similares.																																																																																										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

7. Recursos, presupuesto y fuentes de financiación

El cálculo del presupuesto se realiza con base en los criterios de referencia para la elaboración de presupuesto en anteproyectos del Comité de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Universidad del Cauca, con un valor de \$16.441, por punto. El valor del punto para el director del trabajo de grado es de 2.5 y 1.5 para los estudiantes.

El presupuesto se planteó de acuerdo a las siguientes Consideraciones:

- Director del proyecto: Dr. Carlos Gaviria, disponibilidad de 1 hora semanal durante la realización del proyecto.
- Duración de la practica 9 meses.

Rubros	Fuentes		
	Estudiante	Departamento	Total
Personal	\$ 5.320.000	\$1.480.000	\$6'800.000
Equipo	\$1.800.000	\$200.000	\$2'000.000
Software			
Bibliografía			
Materiales	\$300.000		\$300.000
Servicios técnicos			
Imprevistos (5%)			
Administración (10%)			
Comunicaciones (5%)			
Total	\$ 7'420.000	\$1'680.000	\$9'100.000

8. Condiciones de entrega

Junto con la monografía de trabajo de grado se entregarán:

1. CD con la monografía, anexos de documentos técnicos de diseños, archivos de diseños CAD y diseño electrónico del prototipo desarrollado.
2. Prototipo de laboratorio de despliegue táctil de pines.
3. Artículo científico en formato IEEE para publicación.

6. Bibliografía

- [1] A. C. González Saucedo, F. J. García Heredia, and R. Ramírez Martínez, “Discapacidad visual,” vol. 51, pp. 199–200, 2016.
- [2] *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*.
- [3] “Política Pública Nacional de Discapacidad e Inclusión Social.”
<https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/promocion-social/Discapacidad/Paginas/politica-publica.aspx> (accessed Jun. 22, 2022).
- [4] “Los ciegos en el Censo 2018.” <https://www.inci.gov.co/blog/los-ciegos-en-el-censo-2018> (accessed Jun. 22, 2022).
- [5] H. SungMin, “Haptic aids for the visually impaired,” in *Pervasive Haptics: Science, Design, and Application*, Tokyo: Springer Japan, 2016, pp. 221–229. doi: 10.1007/978-4-431-55772-2_14.
- [6] W. Yang, J. Huang, R. Wang, W. Zhang, H. Liu, and J. Xiao, “A Survey on Tactile Displays for Visually Impaired People,” *IEEE Trans Haptics*, vol. 14, no. 4, pp. 712–721, 2021, doi: 10.1109/TOH.2021.3085915.
- [7] M. Shinohara, Y. Shimizu, and A. Mochizuki, “Three-dimensional tactile display for the blind,” *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 249–256, 1998, doi: 10.1109/86.712218.
- [8] A. F. Siu, E. J. Gonzalez, S. Yuan, J. B. Ginsberg, and S. Follmer, “shapeShift: 2D Spatial Manipulation and Self-Actuation of Tabletop Shape Displays for Tangible and Haptic Interaction,” in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Apr. 2018, pp. 1–13. doi: 10.1145/3173574.3173865.
- [9] F. Taher *et al.*, “Exploring Interactions with Physically Dynamic Bar Charts,” in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Apr. 2015, pp. 3237–3246. doi: 10.1145/2702123.2702604.
- [10] K. Zhang and S. Follmer, “Electrostatic adhesive brakes for high spatial resolution refreshable 2.5D tactile shape displays,” in *2018 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, Mar. 2018, pp. 319–326. doi: 10.1109/HAPTICS.2018.8357195.
- [11] I. Poupyrev, T. Nashida, S. Maruyama, J. Rekimoto, and Y. Yamaji, “Lumen: interactive visual and shape display for calm computing,” in *ACM SIGGRAPH 2004 Emerging technologies on - SIGGRAPH '04*, 2004, p. 17. doi: 10.1145/1186155.1186173.
- [12] S. Jang, L. H. Kim, K. Tanner, H. Ishii, and S. Follmer, “Haptic Edge Display for Mobile Tactile Interaction,” in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May 2016, pp. 3706–3716. doi: 10.1145/2858036.2858264.
- [13] H. Zhu and W. J. Book, “Practical Structure Design and Control for Digital Clay,” in *Dynamic Systems and Control, Parts A and B*, Jan. 2004, pp. 1051–1058. doi: 10.1115/IMECE2004-59743.
- [14] Carlberg and Christian. Carlberg, “Clutch mechanism for a raised display apparatus.,” *U.S. Patent No. 7,439,950*, Oct. 2008.
- [15] Benjamin Peters, “Design and Fabrication of A Digitally Reconfigurable Surface,” *Massachusetts Institute of Technology*, 2011.
- [16] D. Leonardis, C. Loconsole, and A. Frisoli, “A passive and scalable magnetic mechanism for braille cursor, an innovative refreshable braille display,” *Meccanica*, vol. 55, no. 8, pp. 1639–1653, Aug. 2020, doi: 10.1007/s11012-020-01190-6.

- [17] S. Puce, T. Dattoma, F. Rizzi, M. Emara, A. Qualtieri, and M. de Vittorio, "A thermo-activated tactile micro-actuator for displays," *Microelectron Eng*, vol. 205, pp. 6–13, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.mee.2018.11.010.
- [18] C. Loconsole, D. Leonardis, M. Gabardi, and A. Frisoli, "BrailleCursor: an Innovative Refreshable Braille Display Based on a Single Sliding Actuator and Simple Passive Pins," in *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, Jul. 2019, pp. 139–144. doi: 10.1109/WHC.2019.8816128.
- [19] J. Kim, B. K. Han, D. Pyo, S. Ryu, H. Kim, and D. S. Kwon, "Braille Display for Portable Device Using Flip-Latch Structured Electromagnetic Actuator," *IEEE Trans Haptics*, vol. 13, no. 1, pp. 59–65, Jan. 2020, doi: 10.1109/TOH.2019.2963858.
- [20] M. Karpelson, R. Pena, and R. J. Wood, "Low-Cost Electromechanical Actuator Arrays for Tactile Display Applications," in *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, May 2018, pp. 471–476. doi: 10.1109/ICRA.2018.8460909.
- [21] J. J. Zárate and H. Shea, "Using pot-magnets to enable stable and scalable electromagnetic tactile displays," *IEEE Trans Haptics*, vol. 10, no. 1, pp. 106–112, Jan. 2017, doi: 10.1109/TOH.2016.2591951.
- [22] N. Besse, S. Rosset, J. J. Zarate, E. Ferrari, L. Brayda, and H. Shea, "Understanding Graphics on a Scalable Latching Assistive Haptic Display Using a Shape Memory Polymer Membrane," *IEEE Trans Haptics*, vol. 11, no. 1, pp. 30–38, Jan. 2018, doi: 10.1109/TOH.2017.2767049.
- [23] L. Brayda, F. Leo, C. Baccelliere, E. Ferrari, and C. Vignini, "Updated Tactile Feedback with a Pin Array Matrix Helps Blind People to Reduce Self-Location Errors," *Micromachines (Basel)*, vol. 9, no. 7, p. 351, Jul. 2018, doi: 10.3390/mi9070351.
- [24] H. Tomita, S. Agatsuma, R. Wang, S. Takahashi, S. Saga, and H. Kajimoto, "An Investigation of Figure Recognition with Electrostatic Tactile Display," 2019, pp. 363–372. doi: 10.1007/978-3-030-23563-5_29.
- [25] J. J. Zarate, O. Gudozhnik, A. S. Ruch, and H. Shea, "Keep in touch: Portable haptic display with 192 high speed taxels," in *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, May 2017, pp. 349–352. doi: 10.1145/3027063.3052957.
- [26] A. F. Siu, S. Kim, J. A. Miele, and S. Follmer, "shapeCAD: An Accessible 3D Modelling Workflow for the Blind and Visually-Impaired Via 2.5D Shape Displays," in *The 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, Oct. 2019, pp. 342–354. doi: 10.1145/3308561.3353782.
- [27] S. Jang, L. H. Kim, K. Tanner, H. Ishii, and S. Follmer, "Haptic Edge Display for Mobile Tactile Interaction," in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, May 2016, pp. 3706–3716. doi: 10.1145/2858036.2858264.
- [28] H. Phung *et al.*, "Interactive haptic display based on soft actuator and soft sensor," in *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Sep. 2017, pp. 886–891. doi: 10.1109/IROS.2017.8202250.
- [29] S. Gutierrez and R. Velazquez, "A portable tactile display based on pin lateral traction," in *2017 IEEE Mexican Humanitarian Technology Conference (MHTC)*, Mar. 2017, pp. 45–50. doi: 10.1109/MHTC.2017.7926195.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE GRADO – MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
ACTA DE TITULARIDAD DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL PARA TRABAJOS
DE GRADO, MODALIDAD INVESTIGACIÓN

El Trabajo de Grado titulado Actuador electromagnético para un despliegue táctil 2.5D bajo el principio de frenado de pines, cuyo objetivo es Proponer un mecanismo de actuación para el frenado controlado de la caída de pines de un prototipo de despliegue táctil 2.5D que se explore con las manos, usando el principio de frenado electromagnético, el cual se desarrollará por el (los) estudiante(s) Franklin Stiven Pérez Perafán y Cruz Dilmer Mancilla perteneciente(s) al programa de Ingeniería en Automática Industrial de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca y bajo la dirección de Carlos Alberto Gaviria López, Docente adscrito(a) al Departamento de Electrónica, instrumentación y control, se realizará como requisito para optar al título de Ingeniero en Automática Industrial. La idea original del proyecto es de Carlos Alberto Gaviria López, identificado con C.C. 76310264 quien la presentó al mencionado Departamento y fue aceptada como tema para el proyecto de grado en referencia.

Financiación:

Entidades que Participan en la financiación del proyecto		
1. Porcentaje Financiación UNIVERSIDAD DEL CAUCA	100	%
2. Porcentaje Financiación entidades externas	0	%
3. Nombre de la(s) entidad(es) financiadora(s) (de ser el caso)		

Los resultados que surjan del desarrollo de este Trabajo de Grado estarán regidos por el Estatuto de Propiedad Intelectual de la Universidad del Cauca, el cual se encuentra regulado por el Acuerdo 008 de 1999, modificado por el Acuerdo Superior 004 de 2018.

Todos los participantes manifiestan que conocen y aceptan lo dispuesto en el Acuerdo Superior No. 008 de 1999 y sus respectivas modificaciones, por lo cual, los aspectos no establecidos en la presente acta serán definidos de conformidad con el Estatuto de Propiedad intelectual de la Universidad del Cauca.

En constancia de aceptación, se firma el Acta por los que en ella intervienen, a los 20 días del mes de julio del 2022.

Stiven Pérez

Nombre: Franklin Stiven Pérez Perafán
Estudiante
Cédula: 1061820716
Código: 104716021008



Nombre: Cruz Dilmer Mancilla
Estudiante
Cédula: 1085943490
Código: 104716021372

Nombre: Carlos Alberto Gaviria López
Director
Cédula: 76310264

Nombre: Alejandro Toledo Tovar
Decano FIET