

Diseño y construcción de un dispositivo electromecánico para ayudar en la lectura a personas discapacitadas

Design and Construction of an electromagnetic reading device for physically handicapped persons

Franz Quesada*, Diana Carolina Peña Arenas**, Jair Armando Corcho Rueda**

*Ingeniero Mecánico. Magíster en Materiales y Procesos. Docente Tiempo Completo Universidad Autónoma del Caribe. Grupo de Investigación en Materiales, Procesos y Tecnologías de Fabricación – IMTEF. fquesada@uac.edu.co.

**Estudiantes X semestre Programa de Ingeniería Mecánica Universidad Autónoma del Caribe. Grupo de Investigación en Materiales, Procesos y Tecnologías de Fabricación IMTEF.

RESUMEN

El propósito de este artículo es presentar los resultados referentes al diseño y construcción de un prototipo de un dispositivo electromecánico para pasar automáticamente la hoja de un libro, de tal modo que facilite la lectura de un texto a una persona con discapacidad física en las extremidades superiores.

Para la investigación preliminar se consultó a médicos especialistas y personas afectadas, entidades públicas y privadas.

En el diseño del prototipo el análisis dimensional, síntesis tipo y la simulación fueron las principales herramientas para la selección y evaluación del mecanismo más adecuado; el análisis cinemático permite determinar las características del motor y los parámetros dinámicos del mecanismo. Programas como Solidworks y Working Model fueron utilizados.

El prototipo consta de tres módulos: un mecanismo de retorno rápido como módulo de trabajo, un sistema neumático como módulo de control y un circuito integrado como módulo de accionamiento.

Palabras clave: discapacidad física, extremidades superiores, diseño, análisis dimensional, dispositivo electromecánico, mecanismo, síntesis.

ABSTRACT

The purpose of this paper is show the results referring design and build a system with an electromechanical device prototype for automatically moving the sheets of a text, so as to facilitate the reading of a text to a person with physical disability in upper limbs.

For preliminary research were consulted specialist doctor and people affected, publics entities and privates.

For the design of the prototype the dimensional analysis, type synthesis and simulation carried out were the mains tools for selecting and evaluating the most appropriate mechanism; the cinematic analysis revealed the characteristics of motor and dynamic parameters of the mechanism. Software how Solidworks and Working Model were used.

The prototype has three modules: one quick return mechanism how work module, one pneumatic system how control module and one integrate circuit how operation module.

Key words: physical disability, upper extremity, design, dimensional analysis, electromechanical device, mechanism, synthesis.

Introducción

Todo ser humano requiere adquirir conocimientos ya sean técnicos, profesionales, culturales o de entretenimientos para convivir en el ámbito familiar, social o para servir a la sociedad; para su proceso de aprendizaje no solamente juegan un papel importante los familiares, tutores e instituciones de educación, sino también la información obtenida en fuentes bibliográficas. Las personas con discapacidad física en las extremidades superiores por lo general son dependientes de una o un grupo de personas para realizar sus tareas cotidianas; al poseer una discapacidad que no le permita por ejemplo hojear una fuente de lectura, el discapacitado se ve en la necesidad de depender de una persona para pasar la hoja del libro, teniendo la dificultad de concentrarse y de llevar un ritmo apropiado en la adquisición de la información ya que debe esperar a que la persona soporte pase de nuevo la hoja.

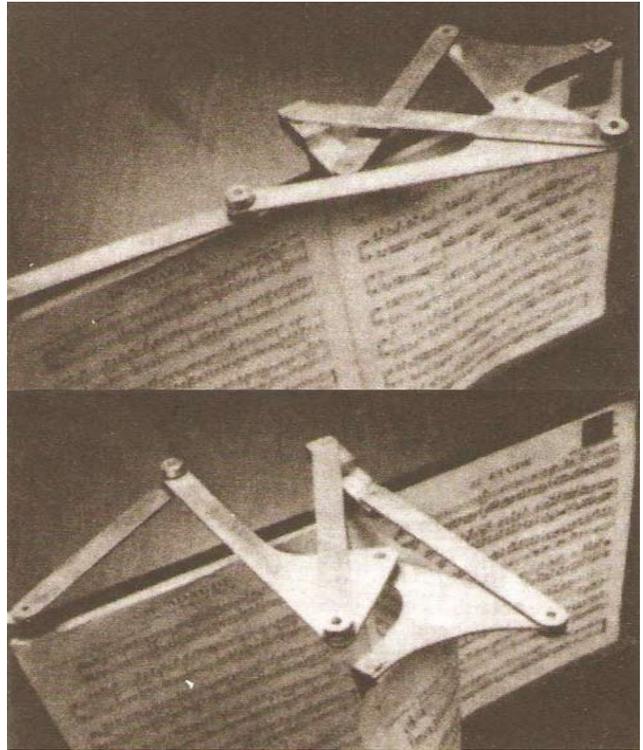
Actualmente en el mercado existen pocos dispositivos o elementos de ayuda que le permitan al discapacitado disminuir su dependencia en el proceso de lectura; entre los dispositivos más comunes en el mercado encontramos las prótesis y los mecanismos para pasar las páginas de las partituras musicales [1]. El primero se puede utilizar únicamente cuando la persona pierde una extremidad superior y presenta la desventaja de su costo excesivo; el segundo es un dispositivo que pasa automáticamente las páginas de partituras musicales las cuales se encuentran imantadas mediante una cinta pegada en la esquina superior derecha de cada página, el eslabonamiento (movido por un pedal) genera una trayectoria de modo que el punto trazador de trayectoria (también imantado) pasa las páginas. En la figura 1 y 2 se muestran los dispositivos existentes.

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un dispositivo electromecánico para que un discapacitado pueda leer un texto con un alto grado de autonomía, siendo su función principal pasar las hojas de modo que se fortalezca su autoestima al incrementar su grado de independencia y, por ende, mayor aceptación e importancia tanto en la sociedad como en la familia.

Figura 1. Prótesis para extremidades superiores



Figura 2. Dispositivo que pasa automáticamente las páginas de partituras musicales

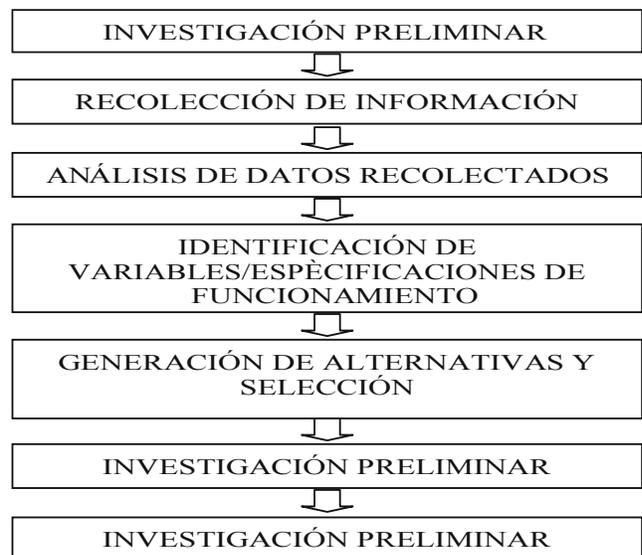


Metodología

La metodología empleada para el diseño del dispositivo se presenta en la figura 3.

La etapa de investigación preliminar se centra en recopilar información relacionada con la discapacidad física en las extremidades superiores [2], [3], [4], [5], [6] para comprender las principales dificultades que presentan las personas afectadas, además se consultaron libros y páginas web especializadas en el tema.

Figura 3. Metodología de diseño



En la etapa de recolección y análisis de la información se realizan entrevistas a la persona discapacitada, familiares y amigos más cercanos, así como consultas a médicos especialista en el tema (psicólogos, traumatólogos); también se efectuaron visitas a entidades públicas y privadas como hospitales, clínicas y centros de rehabilitación para personas discapacitadas. Lo anterior con el objetivo de obtener información primaria necesaria para establecer los requerimientos del proyecto.

Con base en lo anterior, se identifican las variables importantes del problema y se establecen los requerimientos para el diseño del dispositivo.

Para poder generar alternativas, primero se determina las funciones que deben realizar el dispositivo y la secuencia de funcionamiento. Antes de generar alternativas se efectúa una síntesis tipo para determinar que sistema es el más apropiado (engranajes, levas, etc), posteriormente el dispositivo se divide en tres módulos.

Seleccionada la alternativa, se realiza una síntesis dimensional, un análisis dinámico y cinemático utilizando los software Working Model y Solidwork respectivamente. Por último se construye el prototipo y realizan los ajustes necesarios.

Resultados

1 Requerimientos

En la Tabla 1 se muestran los requerimientos de diseño del dispositivo. Se toma como referencia de lectura los libros y revistas por ser los más utilizados de acuerdo a la encuesta realizada, lo anterior determina el rango de dimensiones posibles. Para determinar la velocidad aproximada de la hoja se realizaron mediciones en 10 ensayos con 5 personas sanas; para la altura base – libro, altura ojos (sentado) y altura ojos (parado) se consultaron las tablas ergonómicas colombianas [7]

Tabla 1. Requerimientos de diseño

Entorno de funcionamiento	
Referencia de lectura	Revistas / Libros
Dimensiones libro abierto	
Ancho	250 mm - 360 mm
Largo	300 mm - 430 mm
Espesor	5 mm - 50 mm
Trayectoria de la hoja	Lineal / Semicircular
Velocidad aprox. de la trayectoria de la hoja	159 mm/seg
Altura base- libro	68,4cm – 83,6cm
Altura de los ojos (sentado)	136,2cm -168,4cm
Altura de los ojos (parado)	
Accionamiento	Con el pie
Cambio del libro	Persona

Para determinar las funciones que debe realizar el dispositivo se hizo un análisis del procedimiento que normalmente hace una persona para leer un texto. Con base en lo anterior las funciones del dispositivo son las siguientes:

- Sostener el libro.
- Sujetar la hoja.
- Soltar la hoja.
- Transportar la hoja.

La secuencia de funcionamiento sería:

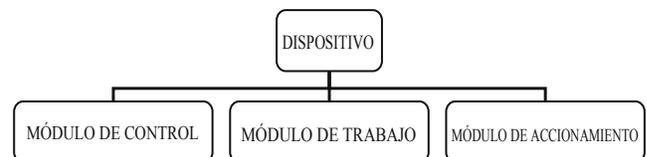
- Acomodar la base al espesor del libro.
- Hoja previamente pisada.
- Activar el sistema de accionamiento.
- El sujetador se ubica a una distancia conveniente en la esquina de la parte superior derecha de la hoja.
- Sujetar la hoja.
- Desplazar la hoja generando una trayectoria semi-circular o lineal.
- Soltar la hoja después de haber recorrido más de la mitad de la trayectoria total.
- Volver al punto de inicio.

2 Alternativas

Para generar las alternativas se divide el dispositivo en tres modulos (Ver Figura 4):

- Módulo de trabajo: corresponde al subsistema encargado de transportar las hojas.
- Módulo de control: se encarga de controlar ciertos parámetros como sujeción de la hoja, dirección de la hoja, posicionado del libro, pisado previo de la hoja, acondicionamiento al espesor del libro.
- Módulo de accionamiento correspondientes al sistema de activación del dispositivo.

Figura 4. Módulos del dispositivo



Módulo de trabajo

Inicialmente se diseña el módulo de trabajo, para lo cual se realiza una síntesis tipo con el fin de determinar cual es el sistema mecánico más apropiado: engranajes, leva-seguidor o eslabones; se evalúan con criterios técnicos, económicos y funcionales. Se selecciona el conjunto de eslabonamientos como la mejor opción para la estructura del mecanismo, en la Tabla 2 se muestra la evaluación de las alternativas.

Una vez definido el sistema mecánico a utilizar se escogen tres tipos de mecanismos de cuatro barras, a los

cuales se les realizó un análisis dimensional utilizando el software de simulación Solidworks. En las Figuras 5, 6 y 7 se muestran las tres alternativas propuestas.

Para los procedimientos utilizados los mecanismos deben cumplir con la ley de Grashof, ver ecuación 1. [8]

$$S + L \leq P + Q \quad (1)$$

Donde:

S: longitud del eslabón más corto.

L: longitud del eslabón más largo

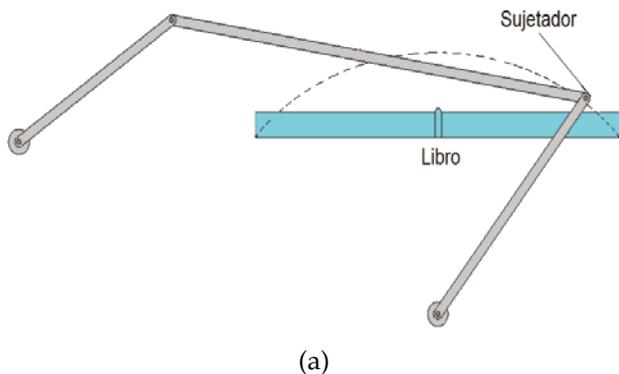
P, Q: eslabones restantes

Tabla 2. Criterios de evaluación de las alternativas. Síntesis tipo

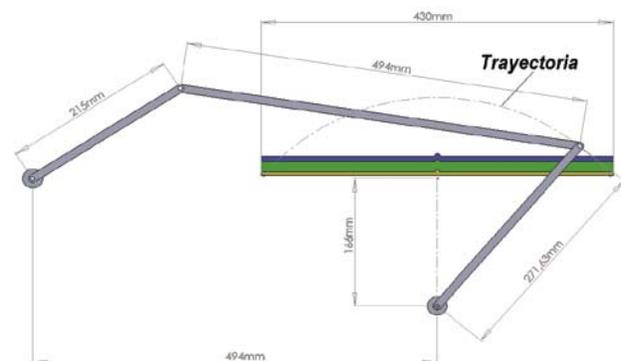
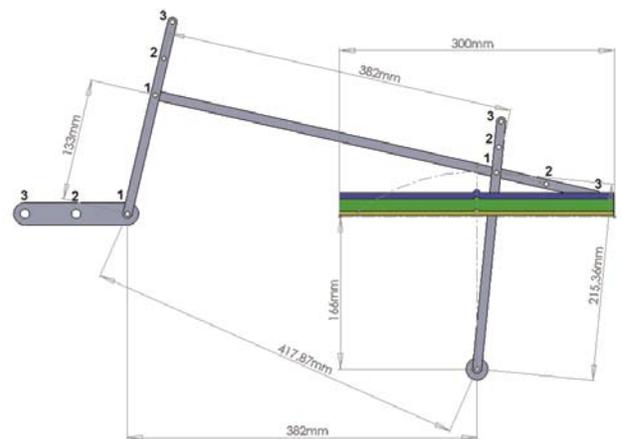
TIPO DE MECANISMO (Alternativas)	CRITERIOS			
	ECONOMÍA	MANTENIMIENTO	ESPACIAL	FUNCIONES
Conjunto de engranajes	Alto costo de manufactura de engranes	Personal capacitado para desarme y ensamble	Máquina con volumen pequeño	Su bloque constitutivo físico y su geometría no permiten sujetar ni trasladar la hoja del libro.
Conjunto de leva-seguidor	Alto costo en manufactura	Fácil desarme y ensamble	Seguidor y resorte de retorno muy extenso (por lo menos 30cm)	Se requiere de dos sistemas de leva y seguidor para sujetar y trasladar la hoja Este tipo de mecanismo es muy útil y flexible para generación de función
Conjunto de eslabones	Bajo costo de manufactura	Fácil desarme, ensamble y engrase	Eslabonamiento grande	Su bloque constitutivo físico y sus diferentes configuraciones geométricas permiten sujetar y trasladar la hoja del libro

En la figura 5a se muestra el diseño conceptual del mecanismo propuesto y en la figura 5b la síntesis dimensional del mecanismo propuesto de modo que para adaptarse a diferentes rangos de dimensiones de los libros. Para el dimensionamiento del mecanismo se utiliza el procedimiento de síntesis de dos posiciones salida-balancín [9], posteriormente se verifica si cumple la Ley de Grashof y utilizando el programa de Solid Work se simula la trayectoria. Ver Figura 5(b).

Figura 5. Mecanismo de cuatro barras con trayectoria semicircular. a) Conceptual. b) Síntesis dimensional.



(a)



(b)

Para el dimensionamiento del mecanismo de cuatro barras de generación de trayectorias se utiliza el procedimiento generación de trayectoria con temporización de tres posiciones prescritas [9]. Ver Figura 6.

Figura 6. Mecanismo de cuatro barras generador de trayectoria

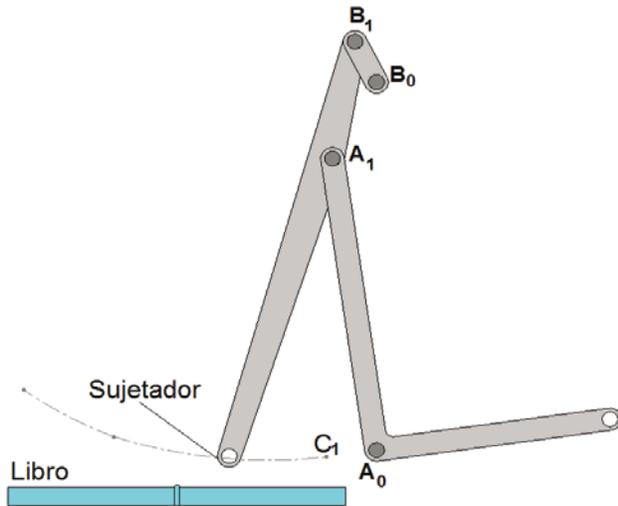
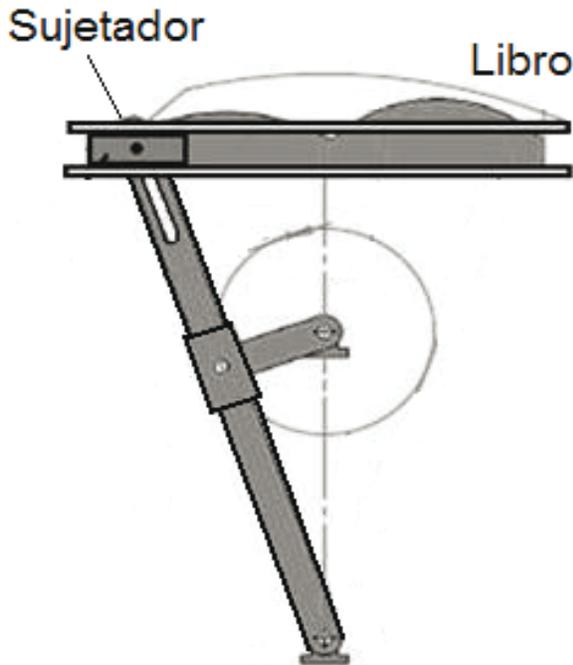


Figura 7. Mecanismo de retorno rápido



Para la evaluación de las alternativas se tiene en cuenta criterios de espacio ocupado por el mecanismo, adaptabilidad del mecanismo a las diferentes medidas de los libros, facilidad de modificar (sus dimensiones) el mecanismo para adaptarlo a las diferentes medidas de los libros, capacidad de pasar las hojas en ambas direcciones. En las tablas 3 y 4 se muestra los criterios de evaluación de las alternativas y los resultados obtenidos.

Tabla 3. Criterios para evaluación de alternativas

Criterio	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
	Mecanismo de Cuatro Barras con Trayectoria Semicircular	Mecanismo de Cuatro Barras Generador de Trayectoria	Mecanismo de Retorno Rápido
Espacio ocupado por el mecanismo (cm ²)	2448	4941	2162
Adaptabilidad a diferentes medidas de los libros.	Regular (Hay que ajustar 3 puntos para cada libro)	Buena (Se adapta a todas las longitudes)	Buena (Hay que ajustar un punto para cada libro)
Facilidad de modificar dimensiones del mecanismo	Regular	Buena	regular
Capacidad de pasar hojas en ambas direcciones.	No	No	Si

Tabla 4. Resultados de la evaluación de las alternativas

Criterio	Peso	Alternativas					
		I		II		III	
		Calif.	Valor	Calif.	Valor	Calif.	Valor
Adaptabilidad a diferentes medidas de los libros.	0.35	3	1.05	4	1.40	4	1.40
Facilidad de modificar dimensiones del mecanismo	0.20	3	0.60	4	0.80	3	0.60
Capacidad de pasar hojas en ambas direcciones.	0.25	2	0.50	2	0.50	5	1.25
Espacio ocupado por el mecanismo	0.20	4	0.80	2	0.40	5	1.00
Valor Total			2.95		3.10		4.25

De acuerdo con el resultado obtenido se selecciona el mecanismo de retorno rápido como la mejor opción para la construcción del dispositivo. Luego se procede a realizar un análisis cinemático para saber cuántas rpm requiere el mecanismo y un análisis dinámico utilizando el software Working Model para identificar las fuerzas que actúan en él. En la figura 8 se muestra la simulación en Working Model y en la figura 9 se muestra una imagen detallada de los resultados obtenidos.

Figura 8. Simulación del mecanismo mediante el software en Working Model.

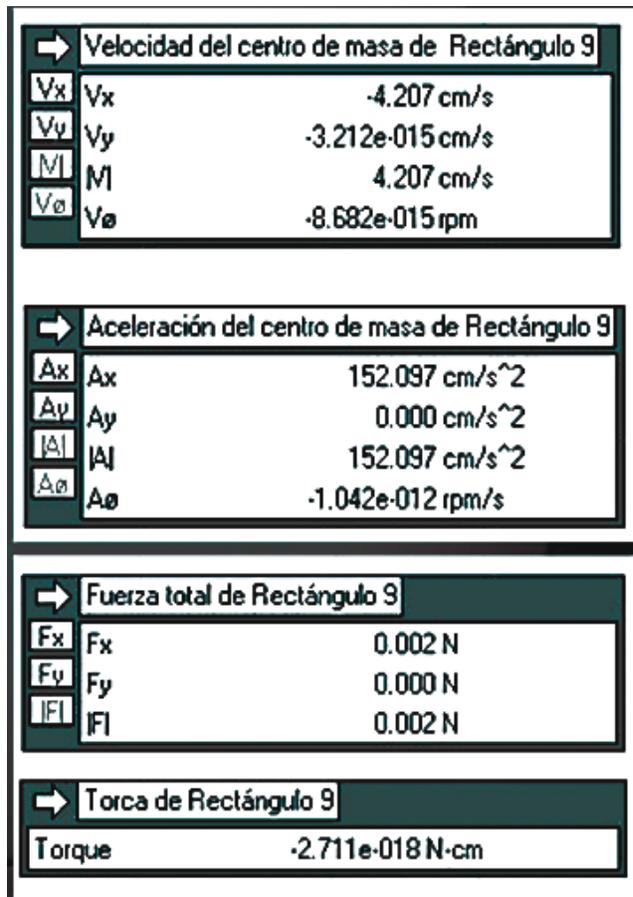
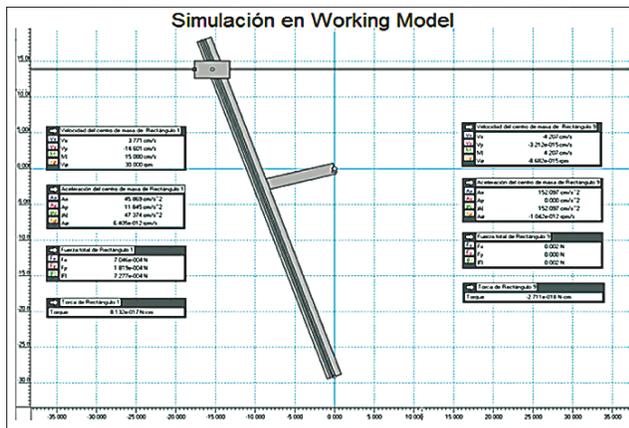
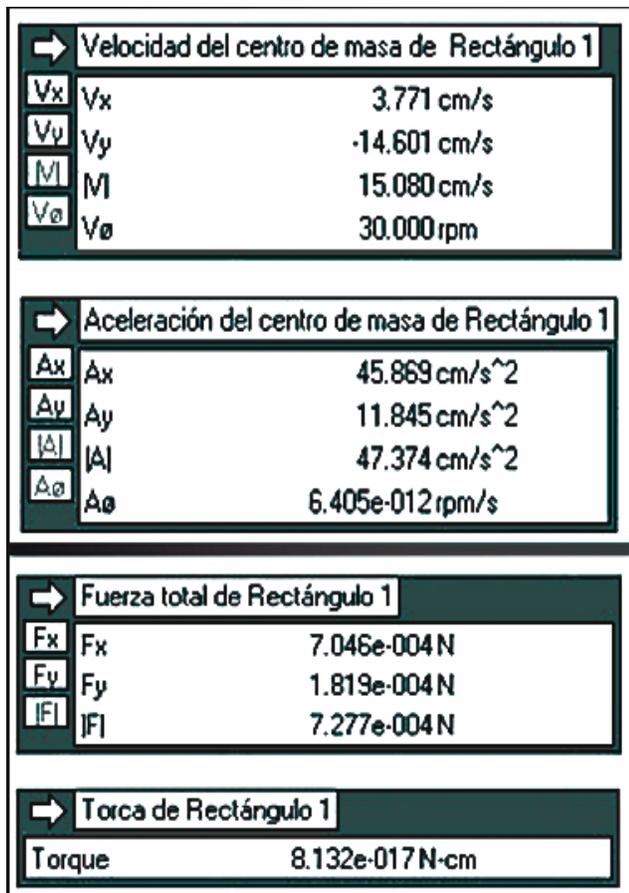


Figura 9. Cuadro de resultados detallado



De acuerdo al análisis cinemático el motor debe girar entre 2 y 3 r.p.m y la máxima fuerza en el sistema es de aprox. 0,7 Nw. En la Figura 10 se muestra el mecanismo ensamblado

Figura 10. Ensamble de mecanismo



Para el diseño de la base se tiene en cuenta las dimensiones de los rangos establecidos para el libro, los diferentes ajustes de alturas dependiendo si la persona está de pie o sentada. De acuerdo a esto se opta por un atril para director de orquesta de aluminio, ya que es un soporte diseñado especialmente para libros, además, tiene diferentes ajustes de altura, ángulos de visión y también se puede utilizar como soporte del

mecanismo. En la figura 11 se muestra el mecanismo en la base seleccionada.

Figura 11. Montaje del mecanismo en el atril vista posterior.



Módulo de Control

En el diseño del módulo de control del mecanismo se plantean dos opciones para el diseño del sujetador:

- Sujetador por succión de aire. Este tipo de sujetador consta de un sistema de neumático el cual succiona la hoja del libro.
- Sujetador por adhesivo. Este tipo de sujetador consta de un adhesivo o goma que se adhiere a la superficie de la hoja.

Al realizar pruebas con la opción por adhesión esta presenta dificultad para que la hoja quede adherida, no siendo confiable. Para el caso del sujetador por succión la frecuencia de éxitos es alta, presenta la dificultad de que puede sujetar más de una hoja dependiendo de su densidad y de la distancia Mansura-hoja; por lo tanto se escoge esta última opción. Para el sistema neumático se acondiciona una aspiradora utilizada en automóviles. Ver figura 12.

Módulo de accionamiento

Este sistema está formado por un interruptor, dos finales de carrera y un motor. Inicialmente el dispositivo es conectado a una FEM doméstica de corriente al-

terna, seguidamente se activará el motor mediante un interruptor ubicándolo en un final de carrera 1 (en la parte derecha de la base del libro). Luego de un tiempo determinado se activa el sistema de succión adhiriéndose la hoja del libro, inmediatamente la hoja es transportada hasta llegar a un final de carrera (ubicado en la parte izquierda de la base del libro); al llegar ahí el motor y sistema de succión se apagan soltando la hoja. Después de unos segundos se enciende nuevamente el motor de giro hasta ubicarse nuevamente en el final de carrera 1 para iniciar nuevamente el procedimiento.

Figura 12. Sistema de sujeción del mecanismo



En el diseño del módulo de accionamiento, se establecieron dos tipos de circuito: con control eléctrico y con circuitos integrados [10]. Para el diseño del circuito eléctrico se utiliza el programa EAGLE y para el circuito integrado el software Proteus en todas sus fases (diseño, simulación, depuración y construcción).

La opción de circuitos eléctricos por relés presenta el inconveniente del ruido que genera al ser activados y los niveles altos de voltaje con que trabaja. Por seguridad se opta por la opción del circuito integrado que maneja voltajes entre 5 y 12 V, lo cual minimiza el riesgo de accidente. Ver Figuras 13 y 14.

Figura 13. Esquema eléctrico del sistema por circuitos integrados.

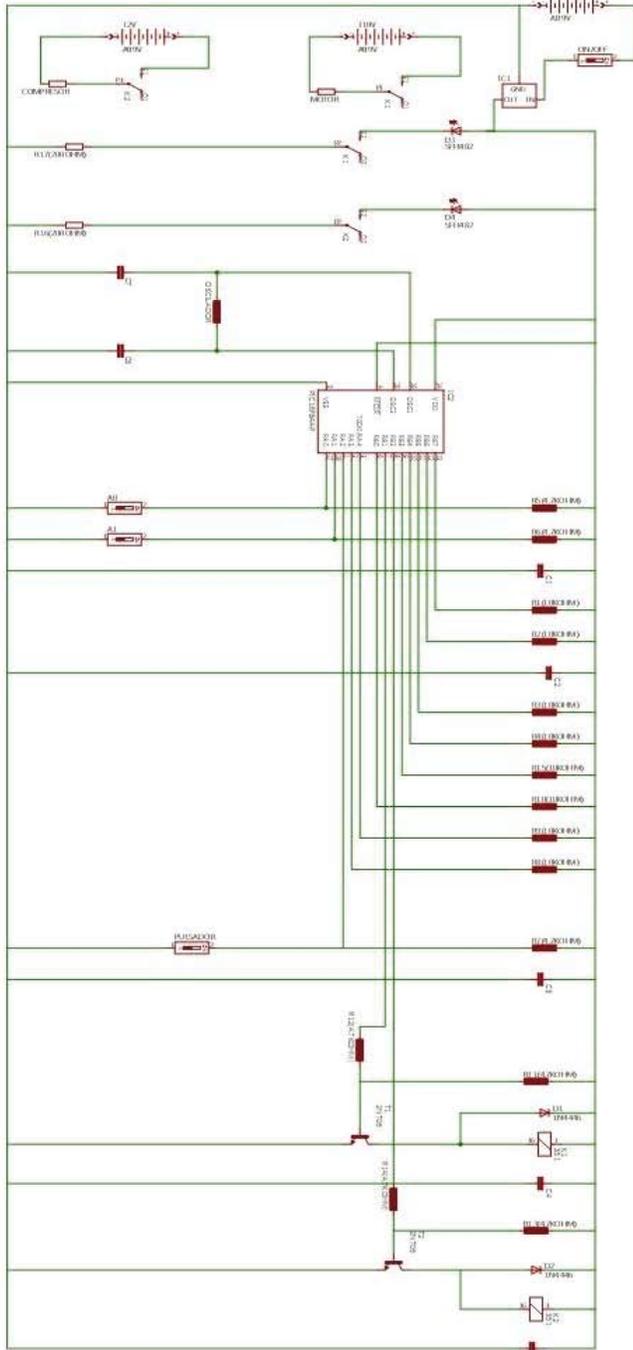
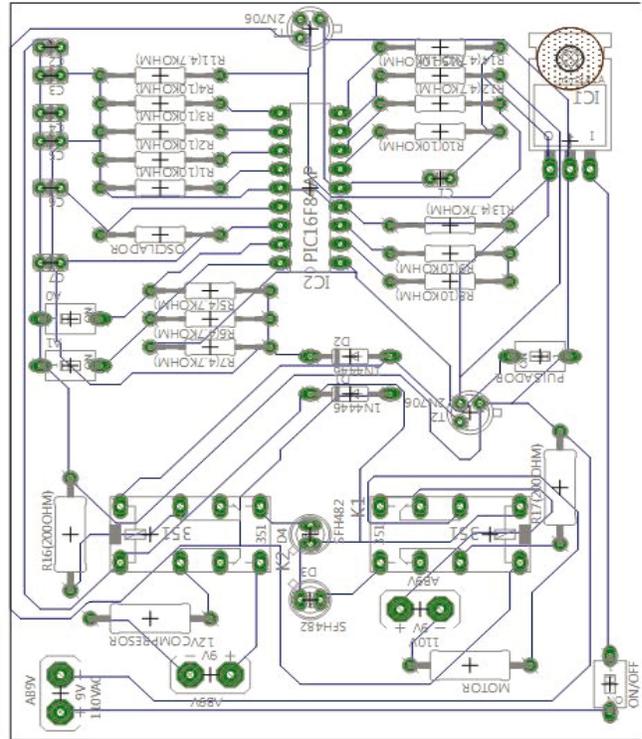


Figura 14. Placa de circuito impresa en EAGLE



En la Figura 15 se muestra el dispositivo en conjunto.

Figura 15. Dispositivo en conjunto



Conclusiones

- Se selecciona el mecanismo de retorno rápido como la mejor opción para la fabricación del dispositivo.
- Por facilidad de control, peso y economía el material para la estructura del mecanismo es de aluminio.
- Se utiliza un atril para director de orquesta como base para el libro y soporte del mecanismo.
- El sistema de sujeción de la hoja es neumático.
- El dispositivo suministra un mayor grado de independencia a la persona discapacitada.
- El sistema de sujeción presenta dificultad para sujetar la hoja cuando ésta es de papel de baja densidad.
- Se debe revisar más detalladamente el sistema de sujeción de la hoja del libro.
- Estudiar la opción de implementar dispositivos que respondan mejor al confort de la persona discapacitada.

Referencias

[1] ERGMAN, Arthur y SANDOR, George. Diseño de mecanismos: análisis y síntesis. 3^a ed. México: PrenticeHall. 1998. Pág. 70, figura 1.63 – 1.64.

[2] Organización Mundial de la Salud, "Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías", IMSERSO, Madrid, 2001.

[3] Discanet: El portal de la discapacidad. Fundación ONCE. 2008.

[4]<http://www.discapnet.es/Discapnet/Castellano/Glosario/D/default>.

[5] MUÑOZ, Juan Carlos y ANTON, María Ángeles. Las discapacidades físicas, integración en educación física. En: Revista Digital EF Deportes. N. 98. Buenos Aires, Argentina (Julio de 2006).

ISSN 1514-3465. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd98/discap.htm>

[6] QUEREJETA, González Miguel. "Unificación de criterios valoración y clasificación". En: Discapacidad/Dependencia. Noviembre del 2003, p. 15.

[7] ESTRADA, J. CAMACHO, J. REATREPO, MT, PARRA, CM. Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana, Protección Laboral Seguro Social. Universidad de Antioquia.

[8] SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2003.

[9] ERDMAN, Artur. SANDOR, George. Diseño de mecanismos, análisis y síntesis. 3^a Ed. Prentice Hall. 1998.

[10] BOYLESTAD – NASHESKY, "Electrónica: Teoría de circuitos", Prentice Hall, Sexta edición, México, 1997.