

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO-NEUMÁTICO QUE PERMITA EL ACCESO A PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA EN UN BUS TIPO URBANO

Mauro Álvarez M./ Jose Fiallos Á. danielocks@hotmail.com/ferrito_111@hotmail.com

Director: Ing. William Bonilla¹ wmbonilla@espe.edu.ec

Codirector: Ing. Ernesto Santillán² ersantillan@espe.edu.ec

^{1,2} UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE CIECIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

*Resumen.*_ El proyecto de investigación tiene como objetivo implementar un sistema mecánico de accionamiento hidráulico-neumático y gestión electrónica en buses de transporte público, que permita la movilización de personas con discapacidad física, el diseño del sistema respeta los parámetros del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y considerando las dimensiones sugeridas en el manual de Ciudades Accesibles difundida por el Consejo Nacional de Igualdad y Discapacidades (CONADIS).

La estructura del prototipo consta de tres gradas regulables en altura por un mecanismo articulado de tijeras de ocho eslabones por cada grada, una plataforma deslizante y una rampa de acople final hacia la vereda.

Palabras clave: Mecanismo, articulado, tijeras, discapacidad, personas, tijeras

*Abstract.*_ The research project has as main objective to implement a mechanical system of hydraulic-pneumatic operation and electronic impulse, in buses of public transportation, the design of the system is regulated by the parameters of the Ecuadorian Institute of Normalization (INEN) which allows the mobilization of people with physical disabilities and considering the measurement in the manual of Accessible Cities published

by the National Council for Equality and Disabilities (CONADIS).

The structure of the prototype consists of three adjustable rungs in height by an articulated mechanism of scissors of eight links for every rung, a sliding platform and a ramp docking to the sidewalk.

Key words: Mechanism, disabilities, articulated, people, scissors

I. INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte urbano es un componente esencial de una sociedad distribuida en un área determinada y está compuesto de factores indispensables como: el diseño de sus vehículos, los entornos de las paradas, sistemas de tráfico, la información a los usuarios y otras variables no menos importantes pero todos ellos han olvidado de alguna manera el criterio de accesibilidad, porque no se ha conseguido que las personas con discapacidad física (PcD), hagan uso habitual de este medio de transporte.

Este proyecto radica en la necesidad de tener un transporte público sin barreras para ningún individuo con el diseño y la construcción adecuada de un sistema que solvete esta exclusión a personas con discapacidad motriz.

Seguros de que la sociedad, que verá mejorado de forma generalizada el transporte público;

este atraerá a un mayor número de usuarios, que en muchos casos, podrán abandonar el coche y ayudar a incrementar la calidad ambiental de la ciudad al reducir la contaminación, la congestión circulatoria y la siniestralidad. [1]

II. DESARROLLO

Criterios de diseño.

Previo al diseño final considerado para la construcción, se evaluaron alternativas conceptuales, desde sus características generales y constructivas, mediante una metodología de Diseño Concurrente [2]. En base a este proceso se establecieron criterios constructivos y mecánicos, que permiten al diseño ser confiable, operable, con peso y tamaños adecuados, como la consideración de las opciones en relación a la selección de componentes y actuadores [3].

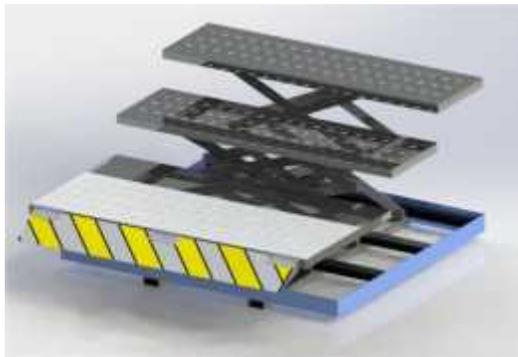


Figura 1. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

Actuadores del prototipo

Tabla 1 Actuadores Neumáticos

Componentes Neumáticos			
Válvula solenoide 5/3 vías posición central cerrada	Presión (psi)	Voltaje (v)	Potencia (W)
	21-120	24 DC	3
Pistón delgado	Carrea (mm)	Fuerza (Kgf)	Diámetro cilindro (mm)
	100	7	16
Pistón compacto I	40	10	10
Pistón Compacto II	30	10	8

Tabla 2 Actuadores Hidráulicos

Componentes hidráulicos				
Bomba de engranes	P. Trabajo (psi)	Potencia (HP)	Depósito (lt)	Voltaje (V)
	500-3000	1.5	2,8	24 DC
Pistón de doble efecto	Carrea (mm)	Diámetro Cuerpo (mm)	Diámetro vástago (mm)	Neplos (pulgadas)
	200	68.7	28.8	3/8
Electroválvula proporcional de 4/3 vías, posición central cerrada	Presión de Trabajo (psi)	Potencia (W)	Voltaje (V)	
	4500 P A B 1450 Tanque	30	24 DC	

Tabla 3 Actuador eléctrico

Actuador eléctrico				
V (DC)	Corriente (A)	Torque (kg.cm)	Peso (kg)	Revoluciones (rpm)
24	0.6	7	0.38	50

Determinación de la Ecuación del mecanismo (Método de trabajo virtual)

a) Diagrama de fuerzas activas

Aquí se plantea las fuerzas que generan trabajo y los desplazamientos virtuales.

$P \rightarrow 80 \text{ kg persona} + 25 \text{ kg silla de ruedas} + 5 \text{ kg equipaje}$
 $P \rightarrow \text{peso (110 kgf)}$

$F_{pis} \rightarrow \text{Fuerza del Pistón}$

$y \rightarrow \text{altura del Mecanismo}$

$x \rightarrow \text{distancia horizontal entre tijeras}$

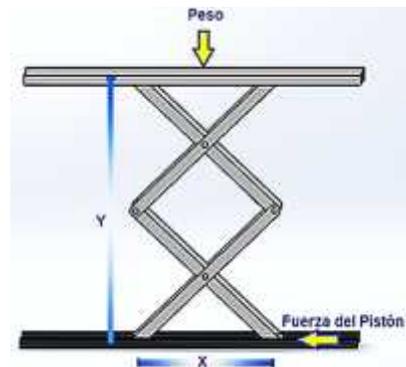


Figura 2. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

b) Desplazamiento virtual

Se identifican los valores que cambian a lo largo del movimiento del mecanismo, sin considerar rozamientos o fuerzas secundarias.

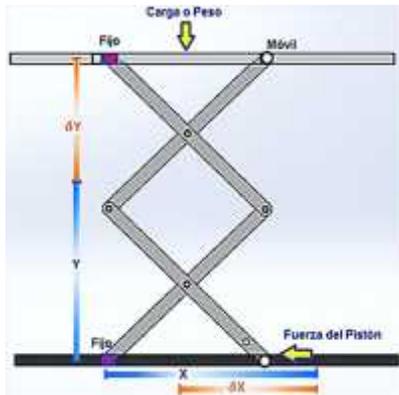


Figura 3. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

$$P 4a \cos \varphi \delta \varphi + F_{pis} (-2a \sin \varphi \delta \varphi) = 0$$

$$F_{pis} = P \frac{4a \cos \varphi \delta \varphi}{2a \sin \varphi \delta \varphi}$$

$$F_{pis} = 2P \cot \varphi \text{ Ecuación del Sistema}$$

Automatización del mecanismo.

Todos los actuadores se cablearon para poder funcionar desde un solo mando integrado que permita recibir todas las señales tanto de entrada como de salida para la secuencia de accionamiento.

c) Ecuación de trabajo virtual

Es una deducción de los primeros dos pasos

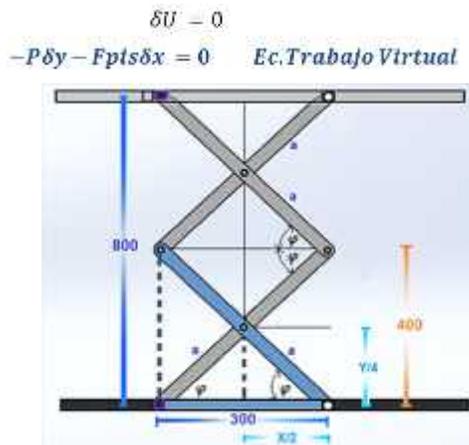


Figura 4. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

$$\sin \varphi = \frac{y/4}{a} \quad \cos \varphi = \frac{x/2}{a}$$

$$\frac{y}{4} = a \sin \varphi \quad \frac{x}{2} = a \cos \varphi$$

$$y = 4a \sin \varphi \quad x = a \cos \varphi$$

Sus respectivas derivadas:

$$\delta y = 4a \cos \varphi \delta \varphi \quad \delta x = -2a \sin \varphi \delta \varphi$$

d) Compatibilidad geométrica

El último paso es integrar la ecuación de trabajo virtual reemplazando todas las ecuaciones obtenidas, se llega al desarrollo final de nuestra ecuación.

PLC con HMI



Figura 5. PLC Renu Electronics.
Fuente: Grupo Investigador

Módulos



Figura 6. Módulos de expansión de entradas y salidas
Fuente: [4]

Algoritmo del sistema mecánico

Para la secuencia de los siguientes procesos en el mecanismo, se parte de la posición estándar (modo gradas), la cual permite el ingreso habitual al autobús y es el punto cero o de partida para la gestión automática, tanto a la salida como al ingreso de la PcD.

- *Ingreso de la persona al autobús.*

1. Despliegue de la plataforma de la 1era grada
2. Descienden secuencialmente la 1era grada, 2da grada y 3era grada.
3. Despliegue de la rampa ubicada en la plataforma hasta topar la vereda
4. Se anclan las tres gradas por medio de seguros de aldaba
5. Ingresa la persona sobre el mecanismo
6. La rampa se ubica perpendicularmente como seguridad al usuario
7. Suben las tres gradas juntas y solidarias
8. La persona avanza dentro del bus
9. Se retira los seguros de aldaba entre las tres gradas
10. Descienden la 1era grada, 2da grada y 3era grada a su posición estándar
11. Se pliega la rampa completamente y sobre la plataforma
12. Se pliega la plataforma y se sobrepone sobre la primera grada

- *Salida de la persona del autobús.*

1. Despliegue de la plataforma de la 1era grada
2. Ascenden la 1era grada, 2da grada y 3era grada hasta quedar coincidentes
3. Se anclan las tres gradas por sus seguros de aldaba
4. La rampa se ubica perpendicularmente como seguridad al usuario
5. Ingresa la persona sobre el mecanismo
6. Descienden las tres gradas juntas y solidarias
7. Despliegue de la rampa hacia afuera hasta hacer contacto con la vereda

III. PROCEDIMIENTO Y EXPERIMENTACIÓN

Análisis de carga

La estructura en su posición estándar se le aplica una fuerza perpendicular de 150 kgf, por cada peldaño, mientras mantienen su posición de uso normal.



Figura 7. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

Previa a la simulación se fija el mecanismo y se sitúan las fuerzas respectivas con sus valores sobre el diseño.

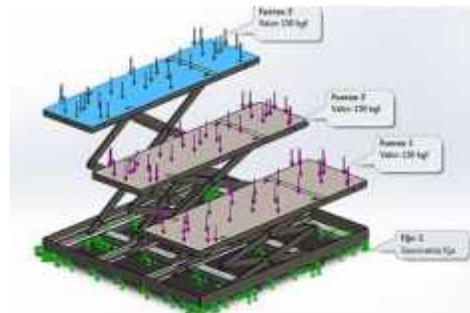


Figura 6. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

Análisis de fuerza en los semiejes.

El siguiente escenario es demostrar la Ecuación del Mecanismo y comprobar el diseño de los semiejes.



Figura 7. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

Se eliminan los componentes (gradas 2 y 3) ya que son idénticas entre sí, generan más ecuaciones, vuelven complejo el mallado y no otorgan mejoras en el resultado específico.

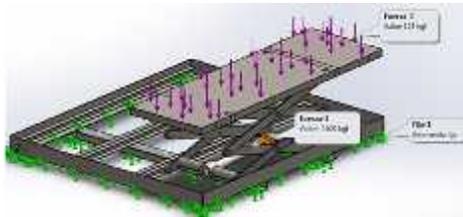


Figura 8. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

IV. RESULTADOS

Una vez obtenido la ecuación del mecanismo, se formula una tabla y una gráfica que describe cómo cambia la fuerza aplicada en la estructura a través de condición plegada hasta su altura máxima considerada.

Tabla 4. Fuerza en función de su variación angular

Variación Angular	Fuerza Pis (kgf)	Fuerza (N)	Presión (psi)
8.05	1555.5	15244	1090
9	1389	13612	973,1
10	1247.6	12227	874,11
11	1131.8	11092	793

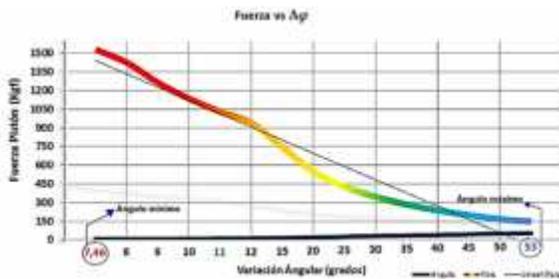


Figura 9. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

La estructura es estable a la fuerza aplicada (peso) sobre cada grada, sus esfuerzos se muestran por debajo del límite de fluencia del acero ASTM A36 [5], [6].

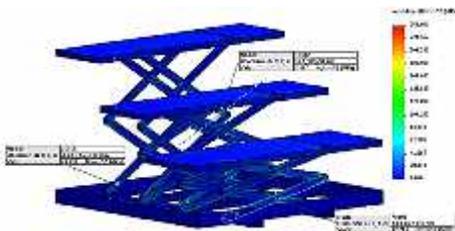


Figura 10. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

El esfuerzo máximo obtenido en los semiejes es 247MPa, están diseñados con acero AISI 4340 y poseen un límite de tensión de 470MPa [5],[6].



Figura 11. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

Materiales en el Mecanismo.

La selección del material está basado en los cálculos y simulaciones de los capítulos anteriores, el ASTM A 36 es un acero de fácil adquisición y fiable que comprende el 80% de todo el mecanismo, el resto de aceros se encuentran descritos a continuación.

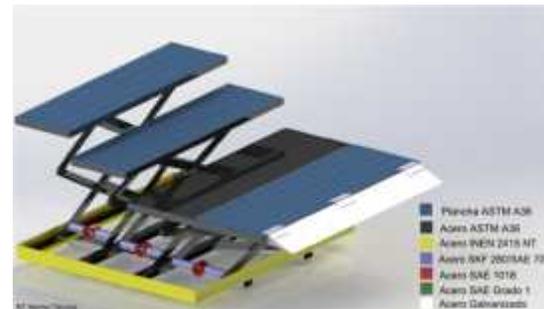


Figura 12. Elevador de Tijeras.
Fuente: Grupo Investigador

Proceso de construcción.

El método usado por la construcción fue la hoja de procesos para cada material, el proceso se encuentra en el ejemplo a continuación [7].



Figura 13. Plataforma.
Fuente: Grupo Investigador

Tabla 6. Hoja de procesos

Hoja de operaciones					
Nombre	Plataforma	Fecha	06-11-2014		
Material	A36, Galvanizado, Inox	Cantidad	1 de 1		
	Actividad	Dimensiones			
	Operación				
	Transporte				
	Inspección				
	Espera				
	Almacena.				
Nº	Descripción	Método			Tiempo
1	Toma de medidas	Flexometro			0:45:00
2	Corte Sierra	Manual			0:20:00
3	Comprobación	Visual			0:05:00
4	Suelda bisagras	MIG			0:30:00
5	Soldado de piezas	MIG			0:15:00
6	Ensamble sujeciones	Manual			0:20:00
7	Comprobación	Visual			48:00:0
8	Suelda de plancha	Manual			0:20:00
9	Limpieza	Guaípe			0:10:00
10	Preparación horno	Asistencia			1:00:00
11	Pintura al horno	Pintura			24:00:0
12	Taller-Carrocerías	Vehículo			0:30:00
13	Pintura poliuretano	Compresor			0:20:00
	Total		9	2 2 1	76:45:0

Tabla 6. Componentes de la plataforma

Plataforma	Descripción	Cant.	Dimensiones
Gestión electrónica y neumática	Perfil en U	3	20x27x3 mm
	Cremallera	2	350x20 mm
	Plancha	1	850x120 mm
	Plan. corrugada	1	900x300 mm

V. CONCLUSIONES

El prototipo se construyó con los aceros de mayor uso comercial y en base a los resultados obtenidos del software Solidworks, el método CAD fue especialmente útil en el diseño único de los semiejes para soportar las condiciones de uso y fuerza por parte del cilindro hidráulico mientras eleva el mecanismo desde su posición plegada a alzada.

La fuerza máxima del pistón hidráulico de 1555kgf disminuye progresivamente 125kgf durante cada grado de elevación, en cuestión de segundos el pistón deja de ejercer más de 400kgf para continuar elevando el peso planteado de cálculo (considerando el peso total actuando en una sola grada).

Los sistemas de control (PLC y módulos) están conectados para trabajar secuencialmente a los

actuadores (hidráulicos, neumáticos y eléctricos) en cada sección e intervalo del mecanismo intuitivamente.

El mecanismo posee una amplia programación para cada posición y prestación que pueda presentarse o mantenimiento que deba hacerse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vega Pilar, (2006) Accesibilidad en el Transporte Público.
- [2] Carles Riba i Romeva, (2002) Diseño Concurrente. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [3] Mott Robert L. (1995) Diseño de elementos de máquinas. 2da. México D.F., Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A
- [4] Manual Flexisoft® 2015.
- [5] Budynas G. Richard y J. Nisbett Keith. (2008) Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. 9na. Ed. México, D.F., McGraw Hill
- [6] Bernard J. Hamrock, B.J, S.S, (2000) Elemento de Máquinas, 1era Ed. México D.F., McGraw Hill
- [7] Rodríguez, Castro, Real, J.L.J. Procesos Industriales Para Materiales Mecánicos. 2da. Ed. Madrid, España., Visionnet

BIOGRAFÍA



Nació en la ciudad de Salcedo-Ecuador. Es ingeniero mecánico en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en Riobamba-Ecuador, posee estudios de posgrado en Gestión de energías, docente tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga.



Ernesto Santillán M. nació en Riobamba. Se graduó como ingeniero mecánico de la Escuela Politécnica Superior de Chimborazo-Ecuador, cuenta con una maestría en Dirección en Proyectos, egresado en el programa de Diseño Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional, posee un diplomado internacional en Competencias Docentes en el Tecnológico de Monterrey y docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2010. Consultor Individual en proyectos de desarrollo e inversión.



Mauro Álvarez M. nació en Sangolquí, estudió en el colegio Sebastián de Benalcázar en la ciudad de Quito, obtuvo su título de Ingeniero Automotriz en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga.



Fernando José Fiallos Ávila nació en 1989 en la ciudad de Latacunga, vive en la ciudad de Salcedo, sus estudios secundarios los realizó en la ciudad de Ambato en el colegio LIGAMI, posee un título de Ingeniero Automotriz en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga.