

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO SALVA DESNIVELES PARA EDIFICACIONES QUE IMPIDEN EL
ACCESO A PERSONAS EN SITUACIÓN DE DISCAPACIDAD**

ALEJANDRO BLANDÓN RESTREPO

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO
MEDELLÍN
2010**

**DISEÑO DE UN DISPOSITIVO SALVA DESNIVELES PARA EDIFICACIONES QUE IMPIDEN EL
ACCESO A PERSONAS EN SITUACIÓN DE DISCAPACIDAD**

ALEJANDRO BLANDÓN RESTREPO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero de diseño de
productos

Asesor: Berny Bluman Levy

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO
MEDELLÍN
2010**

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín 20 Octubre 2010

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo obtenido en la realización de este proyecto, igualmente a mi asesor el señor Berny Bluman, director de Colombia Accesible, que gracias a su apoyo y acompañamiento, este trabajo de grado pudo desarrollarse, de igual manera a todas aquellas personas que colaboraron de forma directa o indirecta durante el proceso conceptual y material.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Metodología	7
2. ESTADO DEL ARTE	9
2.1 Elevadores Verticales	9
2.2 Elevadores Inclınados	14
2.3 Escaladores	16
2.4 Percepción Y Experiencias De Los Usuarios Con Los Sistemas Salva Desniveles	19
3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO	24
3.1 Benchmarking	24
3.2 PDS	26
4. DISEÑO CONCEPTUAL	31
4.1 Caja Negra	31
4.2 Estructura Funcional	32
4.3 Síntesis Funcional	32
5. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	34
5.1 Alternativa de diseño 1	34
5.2 Alternativa de diseño 2	35
5.3 Alternativa de diseño 3	36

5.4 Matriz de Evaluación	37
5.5 Propuesta de Diseño Final	39
6. DISEÑO DE DETALLE	44
6.1 Modelo CAD	44
6.2 Planos	47
7. INFORME DE INGENIERÍA	48
7.1 Análisis de elementos finitos	48
7.1.1 Análisis de esfuerzo – deformación	50
7.2 Memorias de Calculo	53
8. VIABILIDAD ECONÓMICA PRELIMINAR	57
8.1 Tabla de Costos y Procesos de Manufactura	57
8.2 Estimación de Mercado Potencial	60
9. PROTOTIPO EXPERIMENTAL	62
9. CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Metodología	8
Figura 2 Elevador Trust T Lift	10
Figura 3 Liftboy	10
Figura 4 Scissor Platform Wheelchair Lift	11
Figura 5 Genesis Staage	11
Figura 6 Multilift	12
Figura 7 Mobilift Cx	12
Figura 8 Pl 72	13
Figura 9 Lp5	13
Figura 10 Delta	14
Figura 11 Xpress li	15
Figura 12 Es 125	15
Figura 13 Journey	16
Figura 14 Starimax	17
Figure 15 Roby	17
Figura 16 Stair-Trac	18
Figura 17 Super Track	18
Figura 18 Ficha Técnica De Encuesta	20
Figura 19 Grado En El Que Se Utilizaría Los Sistemas Salva Desniveles	21
Figura 20 Grado De Seguridad De Los Sistemas Salva Desniveles	22
Figura 21 Nivel De Eficiencia De Los Sistemas Salva Desniveles	23
Figura 22 Caja Negra	31
Figura 23 Estructura Funcional	32
Figura 24 Síntesis Funcional	33
Figura 25 Alternativa De Diseño 1	35

Figura 26 Alternativa De Diseño 2	36
Figura 27 Alternativa De Diseño 3	37
Figura 28 Render De La Propuesta Final	40
Figura 29 Ubicación Del Dispositivo En Los Desniveles	42
Figura 30 Sistema De Parada	42
Figura 31 Sistema De Leva	43
Figura 32 Modelo Cad	44
Figura 33 Render 1 Modelo Cad	45
Figura 34 Render 2 Modelo Cad	46
Figura 35 Render 3 Modelo Cad	47
Figura 36 Cargas Y Restricciones	49
Figura 37 Análisis De Esfuerzos	51
Figura 38 Análisis De Deformación	52
Figura 39 Esquema Del Tornillo De Potencia	53
Figura 40 Rosca Cuadrada Y Acme	54
Figura 41 Análisis De Fuerzas	55
Figure 42. Prototipo Experimental	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Benchmarking	24
Tabla 2 PDS	27
Tabla 3 Necesidades	29
Tabla 4 Matriz De Evaluación	38
Tabla 5 Propiedades Del Material	48
Tabla 6 Información Del Mallado	50
Tabla 7 Resultados Del Análisis De Elementos Finitos	52
Tabla 8. Procesos De Manufactura	57
Tabla 9. Costos	59

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - PLANO	68
ANEXO B – ENCUESTA	72
ANEXO C – NORMA NTC 4145 ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO	76
ANEXO D – CALCULOS TORNILLOS DE POTENCIA	82

RESUMEN

Este trabajo de grado comprende los antecedentes de la situación de accesibilidad en Colombia, así como la investigación del estado del arte de los dispositivos salva desniveles para edificaciones que impiden el acceso a personas discapacitadas en el mercado global y sus perspectivas respecto a su funcionalidad y seguridad por parte de los usuarios. Este estudio permitió la identificación de las características técnicas y funcionales ideales de dichos productos, con las que se desarrolló una propuesta de diseño mediante herramientas CAD y análisis de elementos finitos, así mismo la elaboración de un prototipo experimental a escala que permite evidenciar la posibilidad de fabricación a nivel local de un dispositivo salva escaleras para espacios públicos o privados con el fin de facilitar la accesibilidad para los discapacitados en Colombia.

INTRODUCCIÓN

Infortunadamente en Colombia se evidencia un desconocimiento frente la situación de accesibilidad urbana de las personas con discapacidad que se enfrentan a barreras sociales, físicas y culturales que obstaculizan su normal desempeño como personas. En el contexto de accesibilidad y discapacidad en Colombia, se pueden encontrar que aunque no existen estudios formales actuales acerca del tema, entidades como la Organización Mundial de la Salud estiman porcentajes acerca de la población colombiana con alguna discapacidad. Del mismo modo, se puede encontrar en la constitución colombiana, decretos y leyes que cobijan los derechos de las personas con dificultad en su movilidad, así como en el mercado se pueden hallar productos que pretenden solucionar o facilitar la accesibilidad de las edificaciones.

Sin embargo, la poca responsabilidad social por parte de las entidades publicas y privadas, los elevados costos de los dispositivos presentes en el mercado y la poca ejecución de las leyes ejercidas por las autoridades pertinentes hacen que este problema continúe latente.

Es por esto que este proyecto al estudiar los productos existentes en el mercado global, y las expectativas de los usuarios de estos dispositivos, pretende dar un avance en la solución a la situación de accesibilidad en Colombia, al dar a conocer el estado del arte de las soluciones actuales y la generación de una propuesta enfocada al contexto local que represente una opción económica y funcional para el país.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

La compleja situación social y económica en Colombia durante los últimos 50 años, ha dejado a su paso un gran grupo poblacional en situación de discapacidad. Estas personas, que en teoría coexisten naturalmente con la población sin discapacidad, en realidad ven diariamente limitada su participación en las diversas actividades del país al no poder acceder en forma autónoma a la cotidianidad social, política, académica, laboral e incluso familiar de las diferentes esferas sociales.

Según las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) ¹ un 12% del total de la población de un país como el nuestro puede encontrarse con algún tipo de discapacidad. Para Colombia, esto podría significar 5 millones de habitantes dentro del grupo en mención, quienes se ven discriminados en su situación, por carecer de igualdad en oportunidades y derechos que les brinden una mayor participación en la comunidad. Inclusión que no es posible, mientras no se eliminen las innumerables barreras físicas y de actitud existentes, que limitan considerablemente la accesibilidad al medio físico en espacios públicos y privados.

En Colombia existe desde 1997 una ley que dicta como obligatoria la accesibilidad en sitios

¹ ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). PUBLICACION: La Discapacidad En América Latina, 2010.

de atención al público. Esta ley, 361 de 1997 ², fue reglamentada en el decreto 1538 de 2005, en el que se indica en detalle los requisitos para que un espacio sea accesible a personas en situación de discapacidad. En el capítulo tercero, numeral B, punto 2 ³, se especifica: “Los desniveles que se presenten en edificios de uso público, desde el andén hasta el acceso del mismo, deben ser superados por medio de vados, rampas o similares.” Esta sentencia es el primer paso lógico para que una persona con limitaciones en su movilidad tenga la opción de un acceso autónomo a las edificaciones y ataca uno de los principales obstáculos que encontramos en nuestro medio, las escaleras para ingresar a los sitios.

Por la topografía Colombiana, la falta de inclusión que tenemos por historia y el desconocimiento de las necesidades de la población con discapacidad, un porcentaje extremadamente alto de los sitios de uso público cuentan con algún tipo de desnivel en su ingreso. En obras ya construidas se convierte en un dolor de cabeza encontrar el espacio adecuado para la construcción de rampas que cuenten con la pendiente requerida para que pueda ser usada de forma autónoma por personas usuarias de ayudas ortopédicas. Ésta situación hace que en muchos casos se desista de cumplir con los requisitos mínimos de accesibilidad incluso a riesgo de demandas legales. La población discapacitada se ve entonces de nuevo excluida de la sociedad por no encontrar opciones accesibles.

Por otro lado, existen en el mercado global productos ⁴ de plataformas elevadoras con especificaciones que se acercan a las necesidades de nuestro país, sin embargo debido a

² PROGRAMA DE DERECHOS HUMANOS Y DISCAPACIDAD. Marco legal de la Salud [en línea]. <<http://www.discapacidad.gov.co/salud/marcolegal.htm>> [citado en 18 junio 2010]

³ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1538 17 May 2005. Capítulo Tercero Accesibilidad A Edificios Abiertos Al Público. Constitución Política de Colombia.

⁴ INVESTIGACION DEL ESTADO DEL ARTE, Proyecto de Grado de Alejandro Blandón de la Universidad EAFIT. Medellín, 2010.

que estos dispositivos no se fabrican localmente, deben ser adquiridos por medio de un distribuidor en Colombia, esto hace que su costo sea significativamente elevado (entre \$15'000.000 y \$80'000.000 de pesos colombianos) y que solo puedan ser adquiridos por entidades grandes. Adicionalmente presentan dificultades en su complejo funcionamiento que las obliga a estar a menudo fuera de uso, además, un gran porcentaje de estas no manejan velocidades de desplazamiento adecuadas en su recorrido lo que las hace poco atractivas para el usuario final.

Otra opción que usan algunos establecimientos son las plataformas tipo “malacate”, estos se convierten en una solución económica que quedaría en el medio de un ascensor y una plataforma, sin embargo requiere de cierto trabajo de obra civil en los establecimientos y su funcionamiento por medio de cables y poleas, los hace inseguros para el uso de personas debido a que son dispositivos creados para carga.

Es por estas razones que se hace necesario desarrollar una solución que pueda ser producida en nuestro país, cuyo costo sea acorde con las capacidades y la intención de las entidades y que su diseño sea acorde con la construcción Colombiana además de proporcionar al usuario seguridad y rapidez para el ingreso a las edificaciones.

1.2 Justificación

La falta de opciones de accesibilidad en las instalaciones físicas en el país para la movilidad de las personas con alguna discapacidad para desplazarse debido al incumplimiento de las normas a la hora de construir, así como las limitaciones de los productos que existen en el mercado en cuanto a su adaptabilidad a los diferentes espacios, altos costos y diseños robustos, representan una necesidad específica de desarrollar un sistema lo suficientemente versátil para adaptarse a la mayoría de espacios, sin representar una inversión elevada y que permita a las organizaciones cumplir con las normas colombianas.

Del mismo modo, la Ingeniería de Diseño de Productos ⁵ tiene como objetivo “Obtener productos de la más alta calidad, innovación, con pertinencia social, económica y tecnológica, respetuosos de la sociedad y del medio ambiente a través de proyectos interdisciplinarios.”, de esta manera se pretende lograr este objetivo al desarrollar un proyecto fundado en la investigación y orientado al mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad.

Este proyecto permite al ingeniero de diseño de productos aplicar sus competencias en metodologías de diseño, desarrollo de modelos formales y funcionales físicos, así como conocimientos en procesos de manufactura y materiales, con el fin de lograr el desarrollo de un producto propio de un profesional en el diseño e ingeniería de productos.

⁵ UNIVERSIDAD EAFIT. Presentación Ingeniería de Diseño de Producto [en línea].

<<http://www.eafit.edu.co/programas-academicos/pregrados/ingenieria-diseno-producto/informacion-general/Paginas/programa.aspx>> [citado en 18 junio 2010]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo que permita a las personas con discapacidad física acceder de forma autónoma, rápida y segura a establecimientos y edificaciones que disponen del espacio para instalar un dispositivo y no encuentran opciones para salvar los desniveles de hasta 4 escalones ⁶ presentes en el ingreso, mediante herramientas y metodologías de diseño (ver figura 1), ofreciéndole a su vez a los dueños o encargados de estos últimos una posibilidad económica y funcional de cumplir con la legislación vigente en materia de accesibilidad y ganar para ellos un mercado que cada vez crece más.

1.3.2 Objetivos específicos

Objetivo específico 1: Elaborar una investigación del estado del arte de productos de competencia, que permita recolectar información en forma precisa de las especificaciones del producto con el fin de definir claramente el PDS Final por medio de la metodología de Benchmarking.

Objetivo específico 2: Elaborar una propuesta funcional de un dispositivo salva desniveles a partir de la información recolectada en el estado del arte utilizando las herramientas de diseño de productos (caja negra, estructura funcional, alternativas de diseño, Modelación 3D, análisis de ingeniería), con el fin de lograr un producto que cumpla con las

⁶ NORMA TECNICA COLOMBIANA ICONTEC. NTC 4145 (2004) Capitulo Tercero Requisitos Generales.

especificaciones de diseño y sea atractivo para entidades publicas que no presenten las instalaciones apropiadas para la accesibilidad de personas discapacitadas.

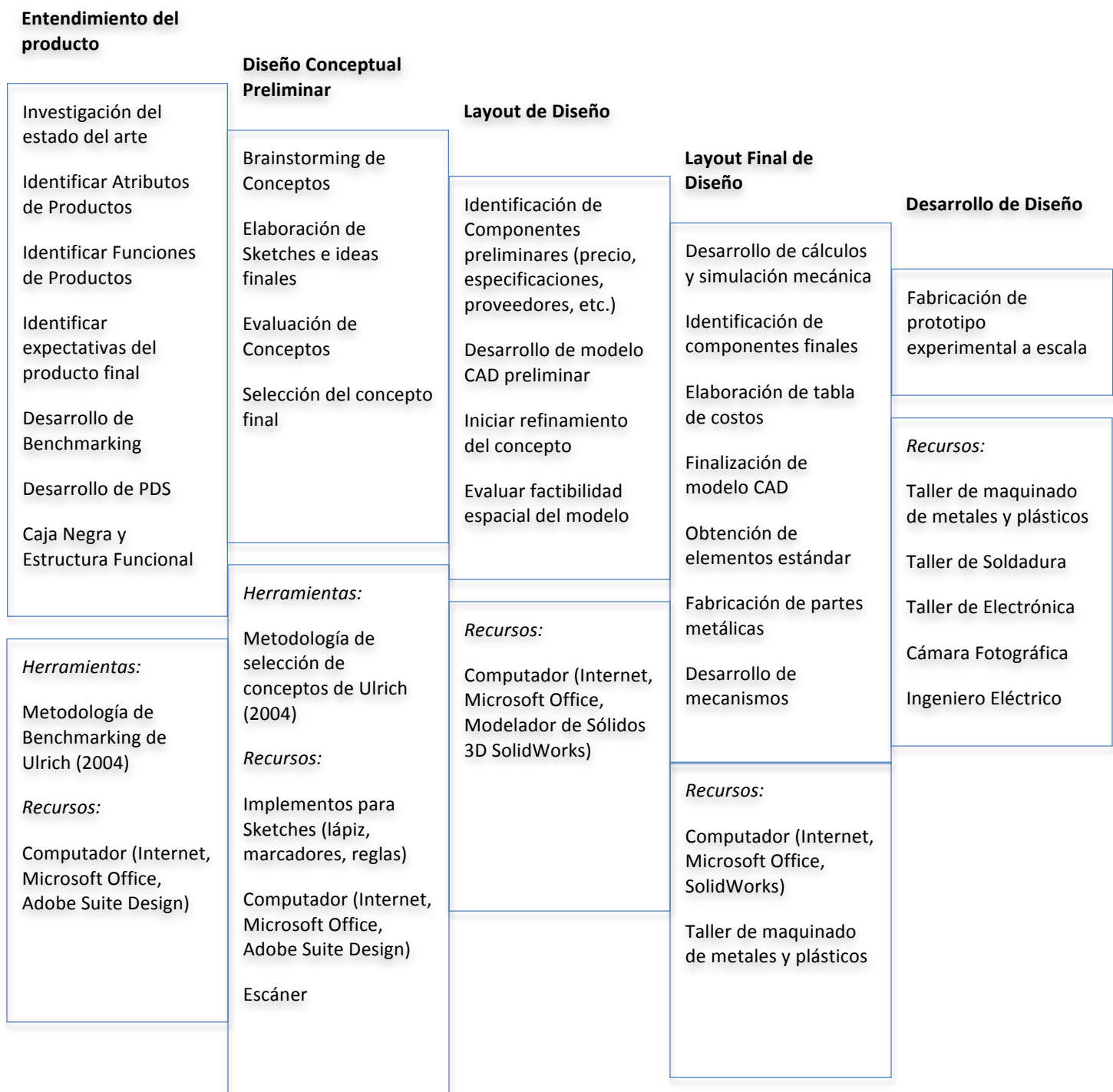
Objetivo específico 3: Desarrollar un informe de la viabilidad económica preliminar del producto a partir de un estimativo del mercado nacional y los costos asociados a la propuesta de diseño desarrollada, con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto.

Objetivo específico 4: Construir un prototipo experimental a escala a partir de la propuesta generada en el proceso de diseño con el fin de verificar el principio de funcionamiento del producto.

1.4 Metodología

La metodología a implementar se estableció con base al proceso de desarrollo de productos utilizado por la compañía *Design EDGE*, el cual se acomoda al tipo de proyecto de grado con enfoque en el área de ingeniería.

Figura 1 Metodología



Fuente: ULRICH, K., & EPPINGER, S. (2004). Product Design and Development. New York: McGraw- Hill/Irwin, 3rd Ed.

2. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de establecer un marco referencial para el desarrollo del proyecto, se realizó una investigación del estado del arte a partir de los productos salva desniveles que se encuentran en el mercado actual. De los principales fabricantes de productos de movilidad, se realizó una división por categorías de los dispositivos salva escaleras de acuerdo con su modo de operación y funcionalidad.

2.1 Elevadores Verticales

Los elevadores verticales están diseñados para situaciones donde los desniveles o escaleras son demasiado altos o largos para instalar una rampa, y que a su vez se disponga de un espacio adyacente a la escalera para la utilización del elevador. Estos dispositivos permiten salvar desniveles completamente verticales, adicionalmente pueden ser instalados de manera permanente o temporal (portátil). Su rango de desplazamiento es variado acorde con su diseño, sin embargo se pueden encontrar dispositivos que alcanzan alturas hasta de 183 cm, para alturas mayores se emplean elevadores permanentes.

Figura 2 Elevador Trust T Lift



Trust T Lift (RAM Manufacturing)

Elevación máxima 132 cm

Capacidad de Carga 250 kg

Velocidad de desplazamiento 2.4 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 137 x 86 cm

Tamaño total (LxA) 137 x 121 cm

Fuente: <http://www.trustram.com> [recuperado el 9 junio 2010]

Figura 3 Liftboy



Liftboy (Lehner Lifttechnik)

Elevación máxima 83 cm

Capacidad de Carga 180 kg

Velocidad de desplazamiento 0.6 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 142 x 86 cm

Peso total 120 kg

Tamaño total (LxA) 183 x 95 cm

Fuente: http://www.lehner-lifttechnik.at/englisch/e_liftboy.html [recuperado el 9 junio 2010]

Figura 4 Scissor Platform Wheelchair Lift



Scissor Platform Wheelchair Lift (Vestil)

Elevación máxima 90 cm

Capacidad de Carga 340 kg

Velocidad de desplazamiento 3 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 132 x 81 cm

Peso total 408 kg

Tamaño total (LxA) 147 x 132 cm

Fuente: http://www.vestilmfg.com/products/ldsol/wheelchair_lift.htm [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 5 Genesis STAAGE



Genesis STAAGE (Garaventa Lift)

Elevación máxima 114 cm

Capacidad de Carga 180 kg

Velocidad de desplazamiento 3 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 138 x 86 cm

Peso total 73 kg

Tamaño total (LxA) 180 x 119 cm

Fuente: <http://www.garaventalift.com/portable-vertical-lift/> [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 6 Multilift



Multilift (Savaria Concord)

Elevación máxima 183 cm

Capacidad de Carga 340 kg

Velocidad de desplazamiento 2.4 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 137 x 86 cm

Tamaño total (LxA) 139 x 127 cm

Fuente: <http://www.savariaconcord.com/multilift.htm> [recuperado el 9 junio 2010]

Figura 7 Mobilift CX



Mobilift CX (Adaptive Ingeneering Inc)

Elevación máxima 152 cm

Capacidad de Carga 275 kg

Velocidad de desplazamiento 4.5 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 142 x 86 cm

Peso total 120 kg

Tamaño total (LxA) 183 x 95 cm

Fuente: http://www.adaptivelifts.com/wheelchair_lifts_cx.html [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 8 PL 72



PL 72 (MACS Lift Inc)

Elevación máxima 183 cm

Capacidad de Carga 272 kg

Velocidad de desplazamiento 3.28 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 121 x 81 cm

Tamaño total (LxA) 158 x 132 cm

Fuente: http://www.macsliftgate.com/porch_lifts/PL-72.html [recuperado el 11 junio 2010]

Figura 9 LP5



LP5 (Guldmann)

Elevación máxima 87 cm

Capacidad de Carga 250 kg

Velocidad de desplazamiento 0.78 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 160 x 90 cm

Peso total 170 kg

Tamaño total (LxA) 160 x 110 cm

Fuente:

<http://www.guldmann.net/Default.aspx?ID=3665&GroupID=GROUP3&ProductID=PROD3>

[recuperado el 9 junio 2010]

2.2 Elevadores Inclınados

Generalmente conformados por una plataforma y un sistema de rieles o soportes anclados a la pared o un soporte contiguo a las escaleras, este es un dispositivo que permite salvar desniveles que conforman una inclinación (alrededor de 45°), por lo tanto no es apto para desniveles verticales. Su instalación es permanente, debido a esto solamente pueden ser utilizados en el lugar donde fueron instalados. Del mismo modo puede ser utilizado para salvar escaleras rectas o curvas, sin embargo debe ser fabricado a medida y por lo tanto su precio es considerablemente alto comparado con los demás productos.

En la mayoría de los casos, este producto dispone de una plataforma plegable que impide que el dispositivo ocupe espacio dentro de las escaleras cuando no esta en uso.

Figura 10 Delta



Delta (Lehner Lifttechnik)

Angulo de elevación máximo 45°

Capacidad de Carga 225 kg

Velocidad de desplazamiento 6 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 100 x 80 cm

Fuente: http://www.lehner-lifttechnik.at/englisch/e_delta.html [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 11 Xpress II



Xpress II (Garaventa Lift)

Angulo de elevación máximo 50°

Capacidad de Carga 225 kg

Velocidad de desplazamiento 4 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 100 x 80 cm

Fuente: <http://www.garaventalift.com/stair-lift/feat.html> [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 12 ES 125



ES 125 (Savaria Concord)

Angulo de elevación máximo 45°

Capacidad de Carga 200 kg

Velocidad de desplazamiento 4.8 m/min

Tamaño de plataforma (LxA) 122 x 76 cm

Fuente: <http://www.savariaconcord.com/es125.htm-specifications> [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 13 Journey



Journey (ThyssenKrupp Access)

Angulo de elevación máximo 45º

Capacidad de Carga 250 kg

Velocidad de desplazamiento 8.4 m/min

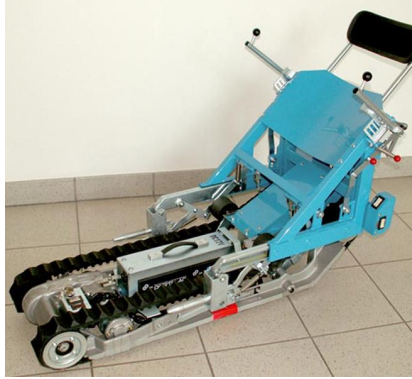
Tamaño de plataforma (LxA) 125 x 90 cm

Fuente: http://www.tkaccess.com/wheelchairlift_journey.asp [recuperado el 10 junio 2010]

2.3 Escaladores

Los elevadores tipo escalador son aparatos donde el usuario de la silla de ruedas es asegurado a un dispositivo y conducido por un operario que manipula un mecanismo de orugas que permite subir escaleras que conforman una inclinación entre 15º y 50º, además de tener una huella y contrahuella específica acorde con el producto.

Figura 14 Starimax



Starimax (Lehner Lifttechnik)

Angulo de elevación máximo 35°

Contrahuella del desnivel máxima 20 cm

Capacidad de Carga 110 kg

Velocidad de desplazamiento 6.5 m/min

Peso 54 kg

Fuente: http://www.lehner-lifttechnik.at/englisch/e_stairmax.html [recuperado el 9 junio 2010]

Figure 15 Roby



Roby (Savaria Concord)

Angulo de elevación máximo 35°

Contrahuella del desnivel máxima 18 cm

Capacidad de Carga 130 kg

Velocidad de desplazamiento 5 m/min

Peso 46 kg

Fuente: <http://www.savariaconcord.com/roby.htm> [recuperado el 9 junio 2010]

Figura 16 Stair-Trac



Stair-Trac (Garaventa Lift)

Angulo de elevación máximo 35°

Contrahuella del desnivel máxima No

Capacidad de Carga 130 kg

Velocidad de desplazamiento 6.5 m/min

Peso 53.5 kg

Fuente: <http://www.garaventalift.com/st/> [recuperado el 10 junio 2010]

Figura 17 Super Track



Super Track (Garaventa Lift)

Angulo de elevación máximo 35°

Contrahuella del desnivel máxima No

Capacidad de Carga 200 kg

Velocidad de desplazamiento 6.5 m/min

Peso 115 kg

Fuente: <http://www.garaventalift.com/portable-wheelchair-lift/feat.html> [recuperado el 10 junio 2010]

2.4 Percepción Y Experiencias De Los Usuarios Con Los Sistemas Salva Desniveles

Mediante la creación de una encuesta⁷ virtual publicada en la pagina Web www.lesionmedular.org, se buscó identificar las expectativas y experiencias de personas discapacitadas acerca de los sistemas salva desniveles presentes en el mercado.

En la figura 18 se puede apreciar la ficha técnica de la encuesta.

⁷ ANEXO B : ENCUESTA, Proyecto de Grado de Alejandro Blandón de la Universidad EAFIT. Medellín, 2010.

Figura 18 Ficha Técnica de Encuesta

FICHA TÉCNICA DE ENCUESTA	
Nombre:	Sistemas Salva Desniveles Para Personas Discapacitadas
Dirección y Ejecución:	Alejandro Blandón
Periodo de Ejecución:	22/07/10 – 10/09/10
Población Objetivo:	Personas que presentan algún tipo de discapacidad física (permanente o temporal) para la movilidad que le impida utilizar escaleras.
Marco Muestral:	Usuarios de la pagina Web www.lesionmedular.org
Tipo de Muestreo:	Muestreo casual o incidental
Tamaño de la Muestra:	10
Objetivo de la Encuesta:	Identificar las expectativas y experiencias de personas discapacitadas acerca de los sistemas salva desniveles presentes en el mercado.
Número de Preguntas:	9

De acuerdo con los resultados obtenidos en la encuesta se encontró que el elevador vertical es el dispositivo con mayores calificaciones respecto a confianza en la utilización, donde según la figura 19, el 87.5% de los usuarios utilizaría estos dispositivos por encima de los demás. Adicionalmente este mismo porcentaje de personas apreció en una escala de 1 a 5, siendo 1 muy inseguro y 5 muy seguro, una calificación superior a 4 puntos respecto a la seguridad del dispositivo según la figura 20. Del mismo modo, el 100% de los

encuestados determino sobre 4, en una escala de 1 a 5 , siendo 1 muy ineficaz y 5 muy eficaz, la eficiencia en el funcionamiento de este producto.

Por el contrario, para los elevadores inclinados solo el 50% de los encuestados consideran que definitivamente lo utilizarían y califican su seguridad por encima de 4 puntos, mientras que el 57% consideran la eficiencia con una calificación superior a 4 puntos.

Finalmente los elevadores tipo escalador obtuvieron los resultados menos deseables, donde solo el 12.5% de los usuarios optarían por utilizar el producto como primera opción, y el 35.5% considera que la seguridad esta por encima de 4 puntos. Aunque el 100% de los participantes manifestaron no haber utilizado este tipo de dispositivos, el 71.4 % considera que es eficaz en su funcionamiento.

Figura 19 Grado en el que se utilizaría los sistemas salva desniveles

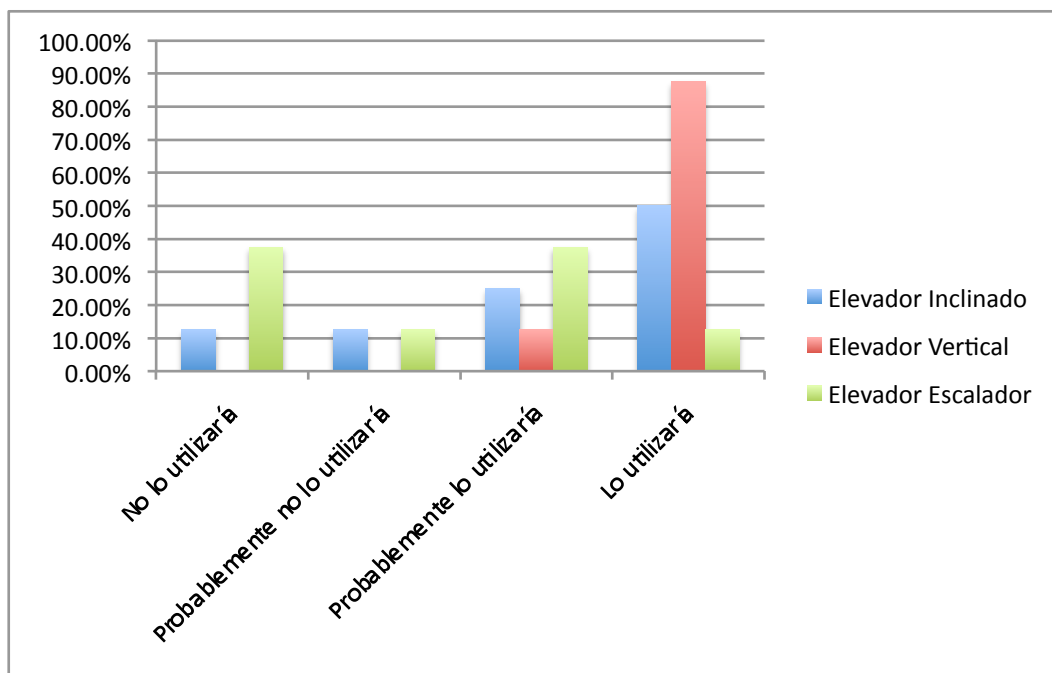


Figura 20 Grado de seguridad de los sistemas salva desniveles desde la experiencia o percepción, siendo 1 muy inseguro y 5 muy seguro

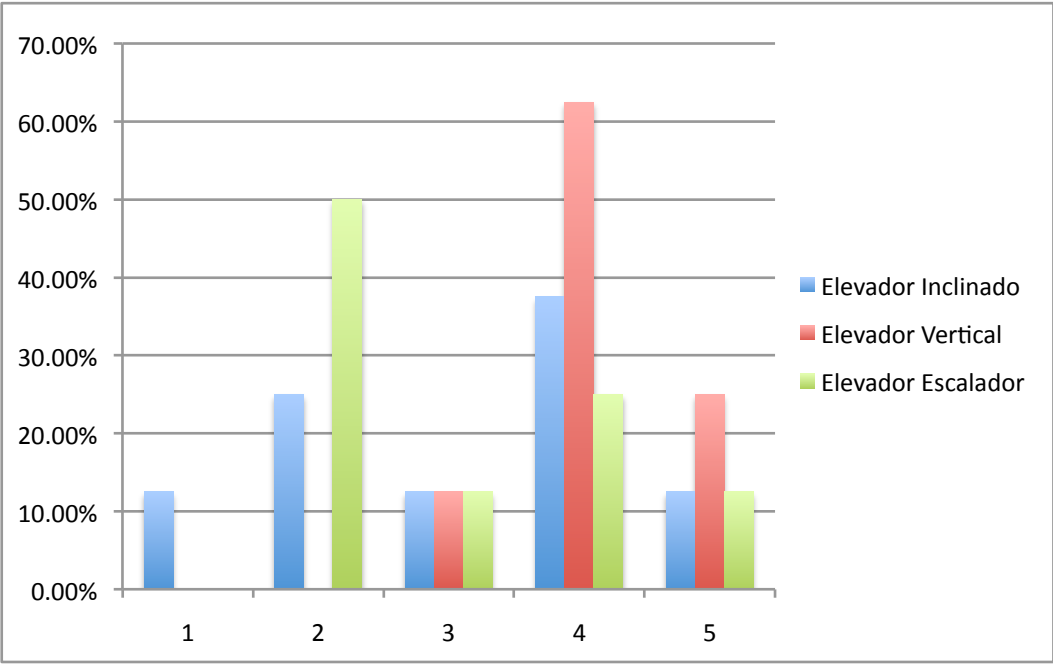
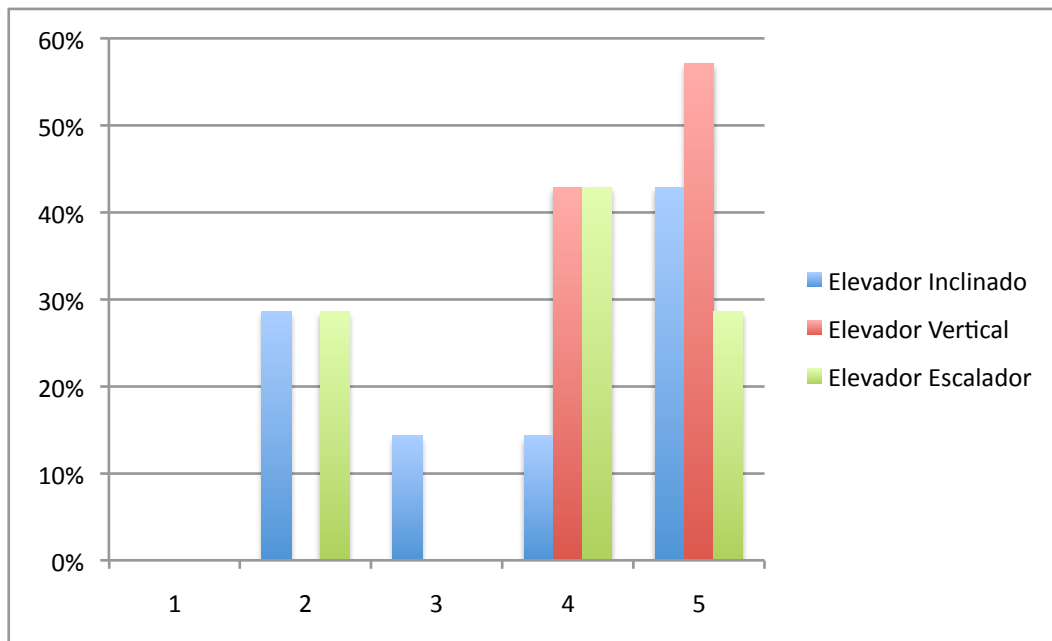


Figura 21 Nivel de eficiencia de los sistemas salva desniveles de acuerdo con la experiencia o percepción. siendo 1 muy ineficaz y 5 muy eficaz



Se puede concluir que a partir de la experiencia en la utilización y la percepción visual de los productos salva escaleras disponibles actualmente en el mercado, los elevadores verticales son los dispositivos con mayor aceptación por parte de las personas con discapacidad física para la movilidad. Estos productos generan un alto grado de confianza en los usuarios en su utilización, funcionamiento y seguridad.

3. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO

3.1 Benchmarking

Con la información recopilada en la investigación del estado del arte, se desarrolló el benchmarking (proceso para la evaluación comparativa de productos), el cual permite visualizar y evaluar las características y especificaciones técnicas de los productos del mercado según su categoría. Esto permitirá establecer un punto de referencia respecto a las especificaciones técnicas que debe tener el producto a diseñar.

Tabla 1 Benchmarking

Nº	Métrica	D/d ⁸	Unidad	Verticales	Inclinados	Escaladores
1	Velocidad de desplazamiento	D	m/min	0.6 - 3.28	4 - 8.4	5 - 6.5
2	Capacidad de Carga	d	kg	130 - 340	200 - 250	110 - 200
3	Elevación máxima	d	cm	83 - 183	Indefinido (inclinación 45º)	Indefinido (inclinación 35º)
4	Alcance horizontal máximo	d	cm	0		
5	Parada de emergencia	D	Binario	Si	Si	Si

⁸ Demanda (D) / Deseo (d)

6	Puntos de apoyo del usuario (Asistencia al ingresar)	d	numero	2	0	0
7	Coeficiente de fricción de la plataforma	D	μe			N/A
8	Altura de barras de seguridad laterales	D	cm	40 - 110	100 - 110	N/A
9	Alcance del usuario al modulo de mando	D	Binario	Si	Si	No
10	Tamaño (plataforma) (largo x ancho)	d	cm	(121-160) x (81-90)	(100-125) x (76-90)	N/A
11	Masa total	d	kg	73 - 408		46 - 115
12	Costo de manufactura de unidad	d	Col\$			
13	Tiempo de instalación del dispositivo	d	min			
14	Percepción de Seguridad del usuario	D	Subjetivo	Alta	Alta	Baja
15	Distancia vertical de la plataforma al nivel inferior	D	cm	<10	<10	N/A
16	Distancia vertical de la plataforma al nivel superior	D	cm	0	0	N/A
17	Lados de acceso	d	número	2	2	1

18	Componentes oxidables expuestos	D	número			
19	Tiempo para entender las instrucciones de uso	d	seg			
20	Tiempo requerido para identificar los elementos de seguridad	d	seg			
21	Espacio que ocupa cuando no esta en operación	d	% tamaño total	100	30 (aprox.)	100
22	Accionamiento del dispositivo desde el nivel superior o inferior	D	Binario	No	Si	N/A

3.2 PDS

Para determinar las especificaciones de diseño de producto, se establecieron los valores máximos y mínimos (valor marginal) encontrados en el Benchmarking para cada requerimiento. Así mismo se determinaron una serie de necesidades presentes en la tabla 3, que hacen referencia y definen cada requerimiento de diseño así como sus valores ideales.

Tabla 2 PDS

No.	Métrica	D/d	Unidad	Necesidades	Valor Marginal	Valor Ideal
1	Velocidad de desplazamiento	D	m/min	8	0.6 – 8.4	8
2	Capacidad de Carga	d	kg	11	110 – 340	200
3	Elevación máxima	d	cm	10	83 - indefinido	indefinido
4	Alcance horizontal máximo	d	cm	10	0 - indefinido	indefinido
5	Parada de emergencia	D	Binario	12	si	si
6	Puntos de apoyo del usuario	d	numero	3,16	0 - 2	min. 1
7	Coeficiente de fricción de la plataforma	D	μe	4		>0.8
8	Altura de soportes laterales	D	cm	13	40 - 110	90
9	Alcance del usuario al modulo de mando	D	Binario	2,17	Si - No	Si
10	Tamaño de plataforma (largo x ancho)	d	cm	6,21	(100-160) x (76-90)	110 x 80
11	Masa total	d	kg	22	46 - 408	<80
12	Costo de manufactura de unidad	d	Col\$	15		<2'000.000

13	Tiempo de instalación del dispositivo	d	min	22		<60
14	Percepción de Seguridad del usuario	D	Subjetivo	7	Alta - Baja	Alta
15	Distancia vertical de la plataforma al nivel inferior	D	cm	1	<10	<2
16	Distancia vertical de la plataforma al nivel superior	D	cm	1	0	0
17	Lados de acceso	d	número	20	1 - 2	1
18	Componentes oxidables expuestos	D	número	5		0
19	Tiempo requerido para entender las instrucciones de uso	d	seg	18		<60
20	Tiempo requerido para identificar los elementos de seguridad	d	seg	14		<30
21	Espacio que ocupa cuando no esta en operación	d	% tamaño total	19	30 - 100	>50
22	Accionamiento del dispositivo desde el nivel superior o inferior	D	Binario	9	Si - No	Si

De acuerdo con el conocimiento de Colombia Accesible en el tema, las necesidades manifestadas por parte de los usuarios de sillas de ruedas respecto a el diseño de un dispositivo salva desniveles obedecen a la tabla 3.

Tabla 3 Necesidades

No. Necesidades	
1	que este a nivel con el piso o que las rampas que salgan tengan una minima inclinación
2	que se pueda manejar con total autonomía por parte del usuario
3	que cuente con barras de ayuda para subir y bajar de ella
4	que el piso sea antideslizante en seco y mojado
5	que aguante la intemperie, incluso pueda ser operada bajo la lluvia
6	que el espacio permita girar 360 grados en silla de ruedas.
7	que permita al usuario sentirse seguro
8	que suba y baje a una velocidad aceptable.
9	que permita pedir la plataforma en el piso de abajo o arriba
10	que permita salvar la mayor cantidad de escalones posibles.
11	que pueda con un usuario en silla de ruedas y un acompañante de pie
12	que pueda pararse en algún momento del recorrido
13	que cuente con protección en los costados para que no se salga la silla o la ayuda
14	que cuente con señalización para ubicación de los elementos de seguridad
15	que el precio de venta sea adecuado para el mercado
16	que cuente con sistemas de apoyo en los 4 costados.
17	que el control de manejo se ubique a una altura adecuada para usarlo desde silla de ruedas
18	que se usen colores contrastantes en las instrucciones de uso
19	que no ocupe mucho espacio de las escaleras cuando no se usa

20	que se pueda entrar y salir de la plataforma por cualquier costado.
21	debe poder usarse por una persona en silla de ruedas y su acompañante que puede estar al lado o detrás de la silla de ruedas.
22	debe poder transportarse para ubicar la plataforma en diferentes puntos de un mismo establecimiento

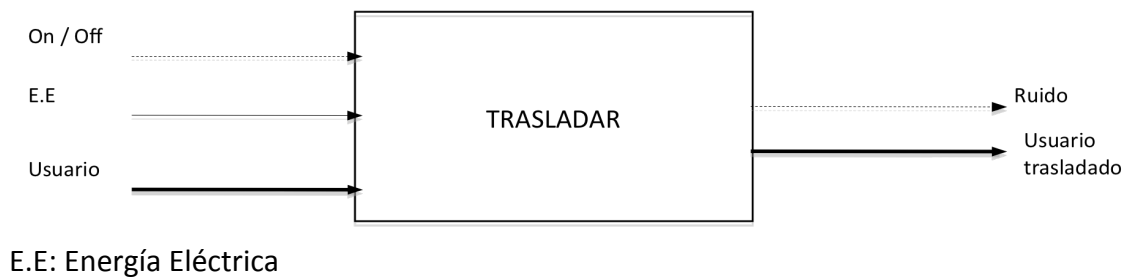
4. DISEÑO CONCEPTUAL

Para el desarrollo de las alternativas de diseño, es necesario determinar el funcionamiento básico de los elevadores salva desniveles, esto se ilustrará mediante el grafico de la caja negra, la estructura funcional y la síntesis funcional del producto.

4.1 Caja Negra

La caja negra, de acuerdo con la figura 22, permite determinar los flujos de entrada que requiere el dispositivo para su funcionamiento, así mismo como los flujos de salida. De este modo se ha determinado que para el funcionamiento del producto se requiere de una entrada de energía eléctrica, una señal de encendido o apagado on/off y del ingreso físico del usuario al dispositivo. Por otro lado, los flujos de salida del producto son efectivamente el usuario trasladado y la generación de ruido residual como efecto de la transformación de la energía eléctrica.

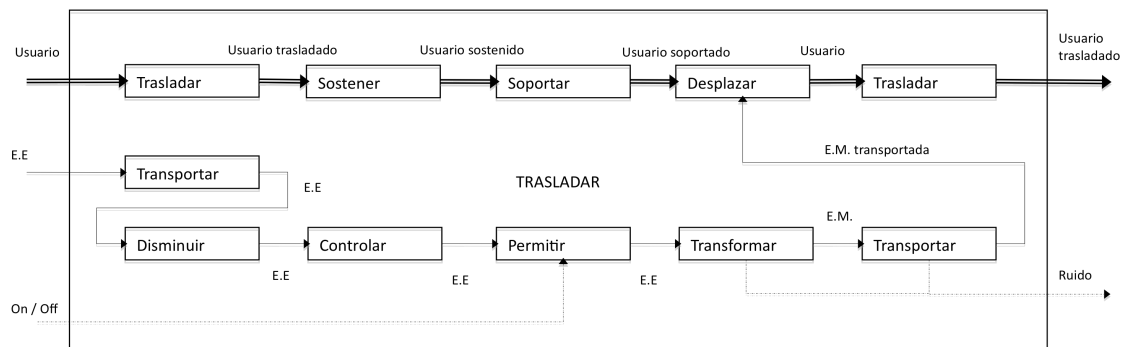
Figura 22 Caja Negra



4.2 Estructura Funcional

La estructura funcional (figura 23) , ilustra de manera detallada y secuencial el comportamiento e interacción de los flujos de entrada con las funciones internas del mecanismo, dando como resultado los flujos de salida.

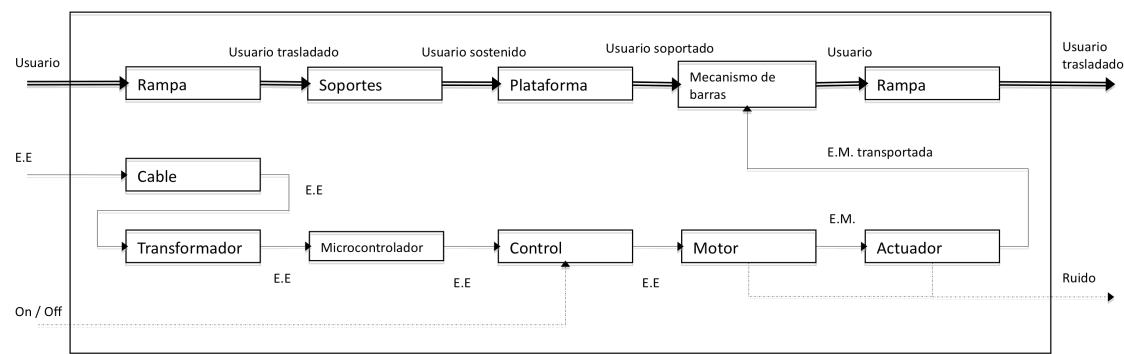
Figura 23 Estructura Funcional



4.3 Síntesis Funcional

Mediante la síntesis funcional, se puede visualizar los componentes esenciales del mecanismo al reemplazar las funciones internas del dispositivo por elementos tangibles que cumplen dichas funciones. De este modo se puede visualizar la interacción de los flujos de entrada con los elementos que conforman el mecanismo.

Figura 24 Síntesis Funcional



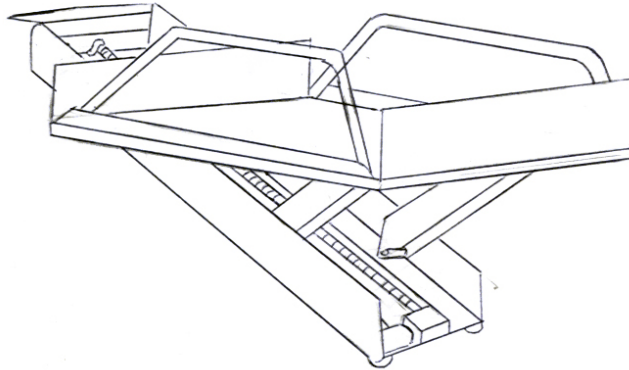
5. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

A partir de las conclusiones encontradas en la investigación de las expectativas y experiencias de personas discapacitadas acerca de los sistemas salva desniveles presentes en el mercado, se definió los elevadores verticales como referente formal y funcional para el desarrollo de las alternativas de diseño.

5.1 Alternativa de diseño 1

El concepto consiste en una plataforma soportada por dos brazos que se deslizan sobre dos rieles inclinados dispuestos encima de los desniveles. La plataforma horizontal se encuentra conectada a un eje sin fin que es impulsado por un motor que está ubicado en medio de los dos rieles. La plataforma consta de dos rampas de acceso que son desplegadas automáticamente al llegar al nivel inferior o superior mediante un resorte de torsión ubicado en las bisagras de las rampas de acceso, y un sistema de levas que obliga a estas a desplegarse cuando esta los extremos de los rieles.

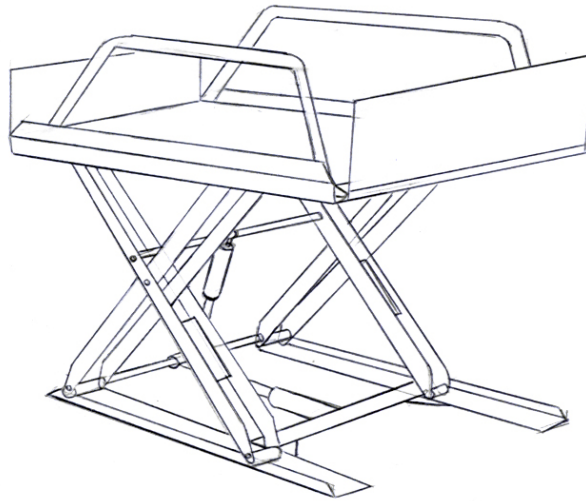
Figura 25 Alternativa de diseño 1



5.2 Alternativa de diseño 2

La alternativa de diseño 2 comprende una plataforma con un mecanismo de barras tipo tijera que impulsa la plataforma en sentido vertical por medio de un actuador eléctrico conectado a las barras. Una vez alcanzada la altura deseada el dispositivo se desplaza horizontalmente por unos rieles dispuestos en el suelo que se encuentran conectados a un segundo actuador eléctrico. Cuando el dispositivo alcanza el suelo o el ultimo desnivel, unas rampas de acceso se despliegan por medio de unas levas al hacer contacto con el suelo o el escalón, y se pliegan debido a un resorte de torsión ubicado en las bisagras de las rampas cuando no hacen contacto.

Figura 26 Alternativa de diseño 2

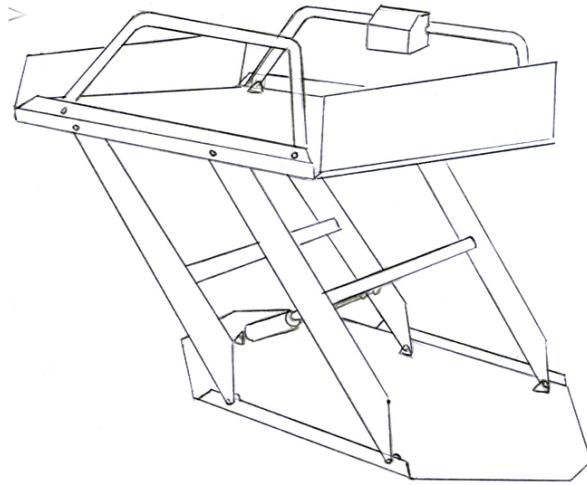


5.3 Alternativa de diseño 3

Esta propuesta consiste de un mecanismo de cuatro barras anclados y pivotados a un soporte dispuesto en el suelo, del mismo modo las barras se encuentra ancladas a una plataforma horizontal que realiza un movimiento radial debido un motor lineal que impulsa el mecanismo de cuatro barras.

El dispositivo se debe posicionar a una distancia específica de las desniveles acorde con los escaleras a salvar, esto es debido a que a partir de esta distancia se debe calcular el moviendo del dispositivo con el fin de alcanzar la traslación requerida. Así mismo tiene dos rampas de acceso dispuestas en las entradas de la plataforma que actúan con un resorte de torsión y un sistema de levas.

Figura 27 Alternativa de diseño 3



5.4 Matriz de Evaluación

Para la selección de la propuesta de diseño se desarrolló una matriz de evaluación que contiene los parámetros mas relevantes que hacen referencia a las especificaciones de diseño de producto con mayor importancia. Cada parámetro tiene un peso porcentual acorde con su importancia en el sistema, adicionalmente se estableció una escala de calificación de uno a diez siendo uno el menor puntaje y diez el mayor.

Tabla 4 Matriz de evaluación

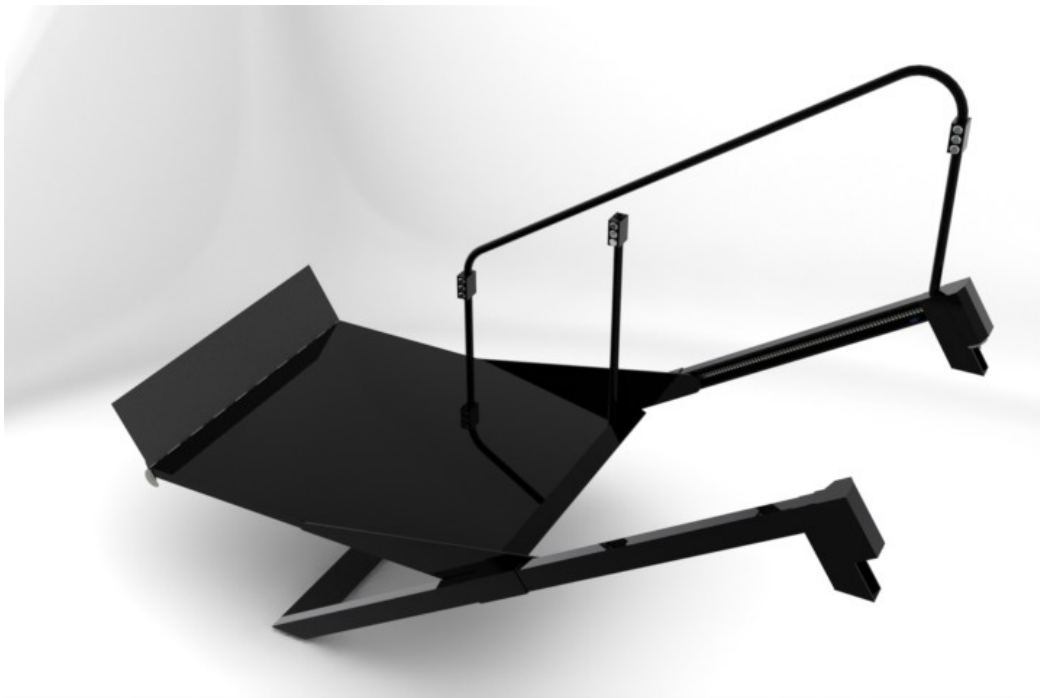
Parámetro	%	Racional (rango de 1-10)	1	2	3
Principio de funcionamiento	25%	1: sistema con menor viabilidad de funcionamiento 10: sistema con mayor viabilidad de funcionamiento	5	6	2
Solución de la necesidad	25%	1: No soluciona la necesidad 10: Soluciona la necesidad perfectamente	7	4	4
Área de ocupación	10%	1: mayor área ocupada 10: menor área ocupada	6	7	2
Costo de manufactura	5%	1: mayor costo 10: menor costo	5	5	5
Masa total	5%	1: mayor peso 10: menor peso	5	5	6
Percepción de Seguridad del usuario	10%	1: menor seguridad 10: mayor seguridad	6	7	1
Tamaño del sistema	5%	1: mayor tamaño 10: menor tamaño	6	5	2
Manufacturabilidad de piezas	10%	1: complejo 10: fácil	6	7	7
Estética	5%	1: visualmente poco agradable 10: visualmente muy agradable	4	5	3
Puntaje			5.8	5.6	3.3

5.5 Propuesta de Diseño Final

A partir de la matriz de evaluación de las propuestas de diseño, se encontró que la primera propuesta de diseño es la alternativa mas apropiada para desarrollar. Sin embargo, los puntajes obtenidos en la matriz son resultados significativamente bajos lo que implica la necesidad de mejorar las propuestas mediante rediseños o la creación de nuevas ideas.

Tomando como base el concepto con el mayor puntaje, se decidió solucionar los problemas mas significativos que afectaban la idea en general. Finalmente, siguiendo con el mismo principio de funcionamiento de esta propuesta se logró un rediseño completo del concepto y se generó la propuesta de diseño final como se aprecia en la figura 28.

Figura 28 Render de la Propuesta Final



La propuesta consiste en un par de rieles dispuestos de manera inclinada sobre los desniveles a lado y lado de la escalera, estos sujetan dos mecanismos de tornillo sin fin impulsados por dos motor ubicados al final del los rieles en la parte superior. Una plataforma situada entre los rieles está conectada a estos por medio de unas placas laterales que aseguran un soporte roscado que se desliza a través del tornillos sin fin, para el funcionamiento del sistema se debe contar con un toma eléctrico convencional en el cual será conectado a un cable proveniente de uno de los rieles.

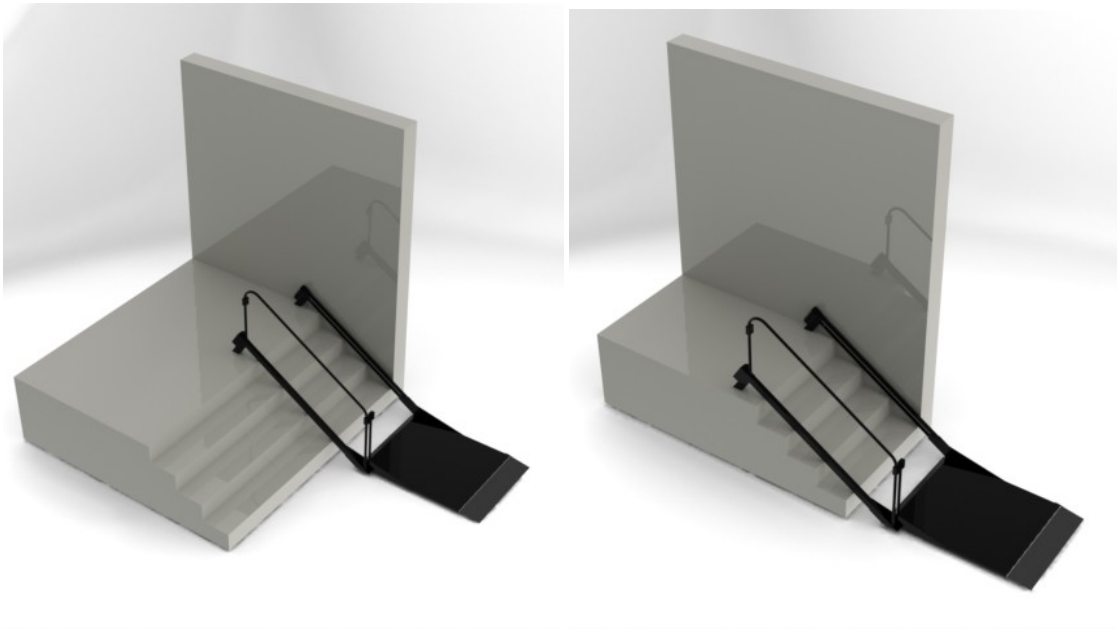
En promedio el ancho de las escaleras internas de una edificación se encuentra entre 90 y 120 centímetros, en dicho caso el dispositivo se acomodara a estas dimensiones y hará parte integral de los desniveles, de este modo cuando el dispositivo no este en uso, no será necesario removerlo de su posición original, se tendrá la plataforma desplegada en el

nivel inferior y los usuarios de las escaleras podrán caminar sobre la plataforma y entre los rieles.

En los casos en donde el ancho de las escaleras supera las medidas promedio, como puede ser el caso de las escaleras externas de una edificación, el dispositivo dividirá los desniveles mediante un pasamanos como se puede ver en la figura 29.

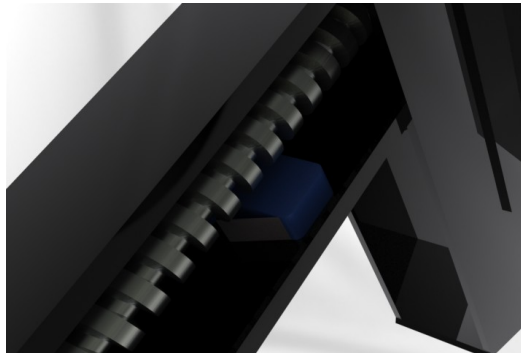
Para el funcionamiento del producto se cuenta con tres controles, uno ubicado en el nivel superior del pasamanos, otro en el inferior igualmente en el pasamanos y el ultimo en la plataforma, cada control cuenta con tres botones que permiten subir, bajar y detener la plataforma de desplazamiento.

Figura 29 Ubicación del Dispositivo en los Desniveles



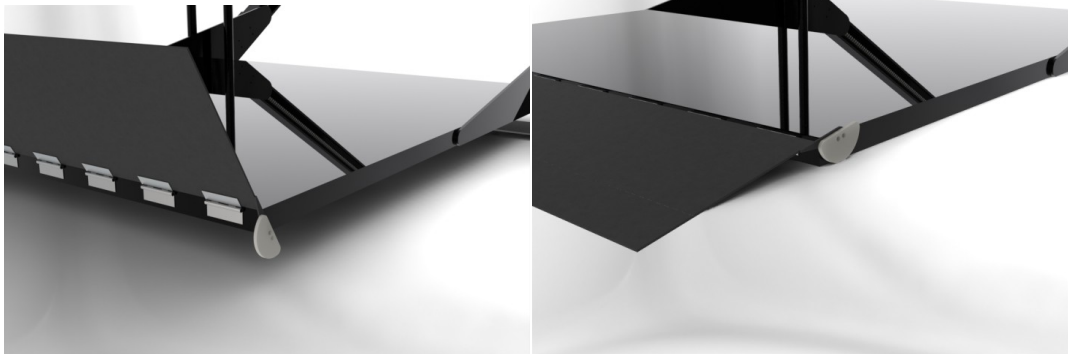
Adicionalmente el dispositivo utiliza switches de carrera en los rieles que permiten la parada automática de la plataforma cuando se llega al nivel superior o inferior, como se puede apreciar en la figura 30.

Figura 30 Sistema de Parada



Finalmente para la acceso a la plataforma se dispone de una rampa conectada a la plataforma por medio de bisagras y resortes de torsión que obligan a la rampa a plegarse automáticamente, adicionalmente, adyacente a la rampa se cuenta con un sistema de levas que al entran en contacto con el piso inferior despliega la rampa, ver figura 31.

Figura 31 Sistema de Leva



6. DISEÑO DE DETALLE

El diseño de detalle ilustra el funcionamiento del producto mediante un modelo 3D y especifica dimensiones a través de planos técnicos.

6.1 Modelo CAD

Durante el proceso de diseño del producto se desarrolló un modelo CAD, en la plataforma de SolidWorks, permitiendo la modelación individual de cada pieza que comprende el sistema y la totalidad del mismo por medio de un proceso de ensamble, es así como se puede evaluar la interferencia entre piezas y el funcionamiento real del dispositivo, a su vez las proporciones de medidas entre las partes, el entorno y el usuario.

Figura 32 Modelo CAD

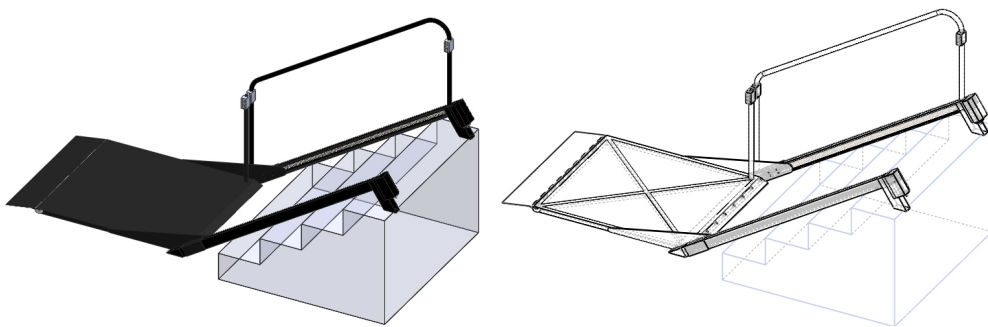


Ilustración del funcionamiento y simulación mecánica del dispositivo :

Figura 33 Render 1 Modelo CAD



Figura 34 Render 2 Modelo CAD

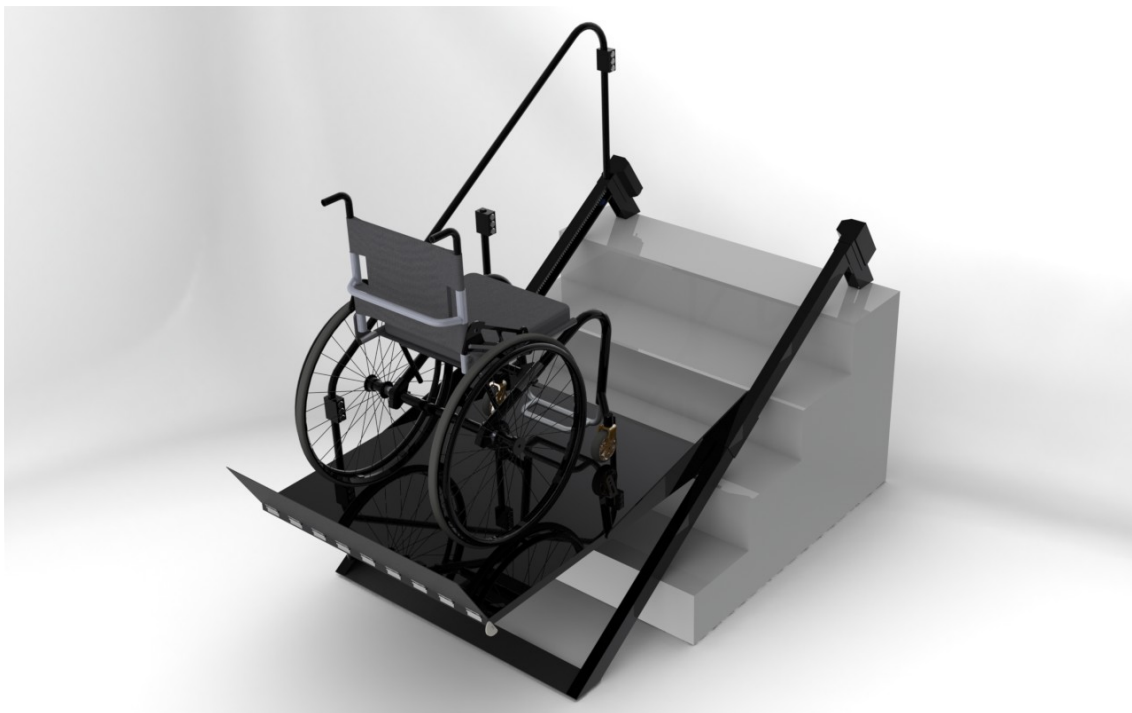
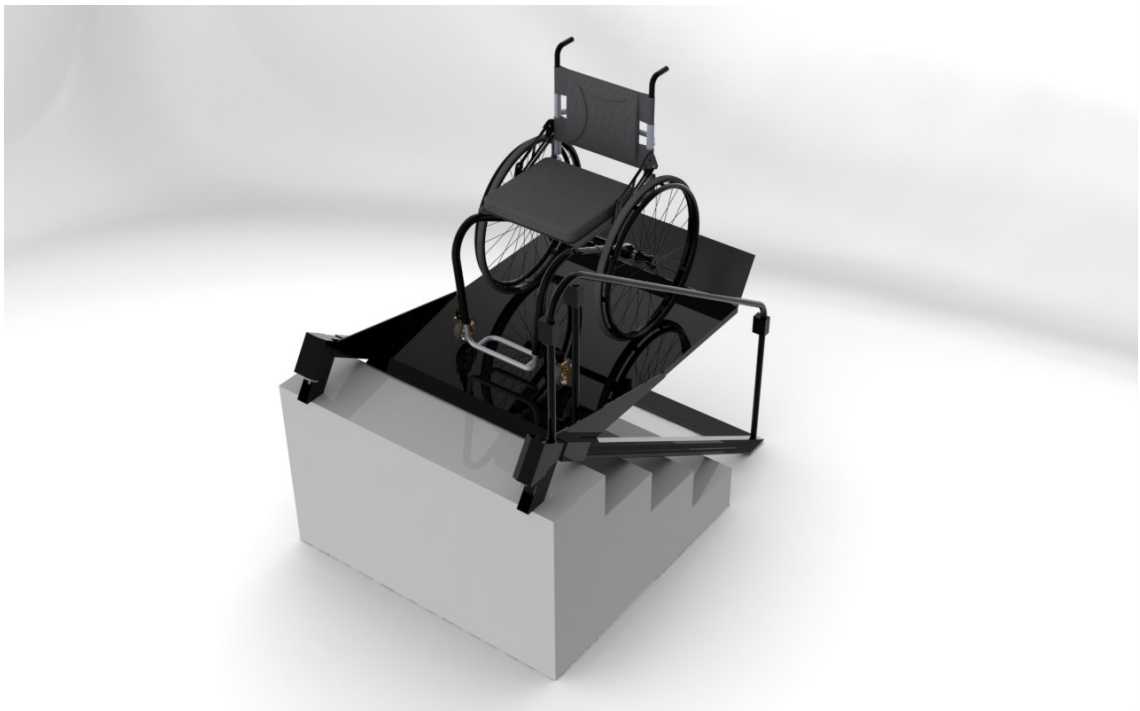


Figura 35 Render 3 Modelo CAD



6.2 Planos

Con el fin de determinar el diseño de detalle del dispositivo se desarrollo, un plano general, donde se visualizan las dimensiones generales del producto respecto a los desniveles en los tres ejes, un plano de ensamble, que permite identificar la interacción de cada una de las piezas a través de una vista en sección de corte y un plano de explosión que muestra el número total de piezas que conforman el sistema y su ubicación relativa.

Los planos se encuentran adjuntos en el anexo A.

7. INFORME DE INGENIERÍA

7.1 Análisis de elementos finitos

Se pretende analizar la concentración de esfuerzos de acuerdo a las piezas que soportan directamente la carga ejercida cuando el dispositivo se encuentra en movimiento, con el fin de determinar si el diseño del modelo estructural soporta los esfuerzos generados mediante el análisis de los resultados de tensión de Von Mises y la deformación de las piezas en comparación con el límite elástico del material.

Tabla 5 Propiedades del Material

Material	AISI 1020
Descripción:	Acero Estructural
Tipo de Material del Modelo:	Linear Elástico Isotropico
Criterio de Falla:	Tensión Max Von Mises

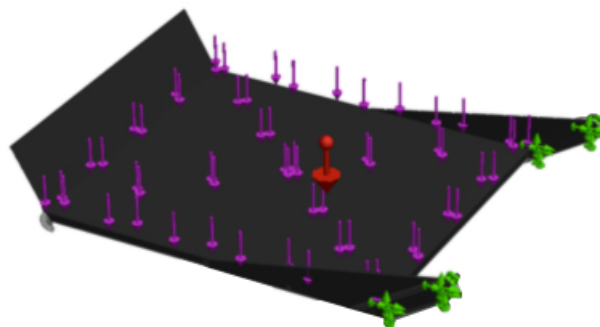
	Valor	Unidad
Modulo Elástico	2e+011	N/m ²
Modulo de Poisson	0.29	NA
Modulo de Cizalladura	7.7e+010	N/m ²
Densidad	7900	kg/m ³

Esfuerzo de Tracción	4.2051e+008	N/m ²
Esfuerzo de Fluencia (límite elástico)	3.5157e+008	N/m ²
Coefficiente Térmico de Expansión	1.5e-005	/Kelvin
Conductividad Térmica	47	W/(m.K)
Calor Especifico	420	J/(kg.K)

Para los resultados del análisis se asume que el material tiene un comportamiento elástico lineal, es decir, Se aplican las relaciones lineales entre el esfuerzo y la deformación, definidas por la Teoría de la Elasticidad.

Debido a que el diseño de las piezas serán sometidos a un esfuerzo de tensión, en el análisis de elementos finitos se restringió todos los grados de libertad en los puntos de contacto con los rieles de ambas placas de soporte de la plataforma . Por otro lado, se aplico una fuerza constante de 2000 N (200 kg) distribuidos en el área del soporte de la plataforma como se ilustra en la Figura 36.

Figura 36 Cargas y Restricciones



7.1.1 Análisis de esfuerzo – deformación

Para la simulación 3D del análisis de elementos finitos se determinó un tipo de elemento sólido con un tamaño de mallado de 4 unidades. No se realizó refinamiento de mallado debido a que los resultados tienden a converger en número constante.

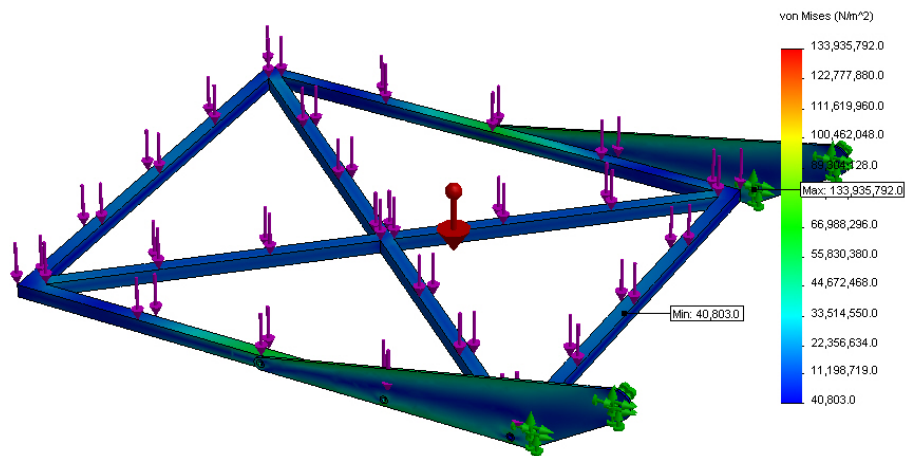
Tabla 6 Información del Mallado

Tipo de Malla:	Malla Sólida
Mallado:	Malla Standard
Tamaño de Elemento:	27.447 mm
Tolerancia:	1.3724 mm
Calidad:	Alta
Numero de Elementos:	8276
Numero de nodos:	17555

Para el análisis de esfuerzos se puede establecer que la concentración de esfuerzos a través de las placas de soporte lateral es mayor en los puntos de contacto, la distribución de las cargas a través de la placa tiende a concentrarse en áreas de cambio de sección, como son los agujeros y curvas en los contornos. Por otro lado las zonas de color azul oscuro hacia el interior de las placas, son zonas donde se presenta la mínima concentración de esfuerzos como se aprecia en la figura 37.

Figura 37 Análisis de Esfuerzos

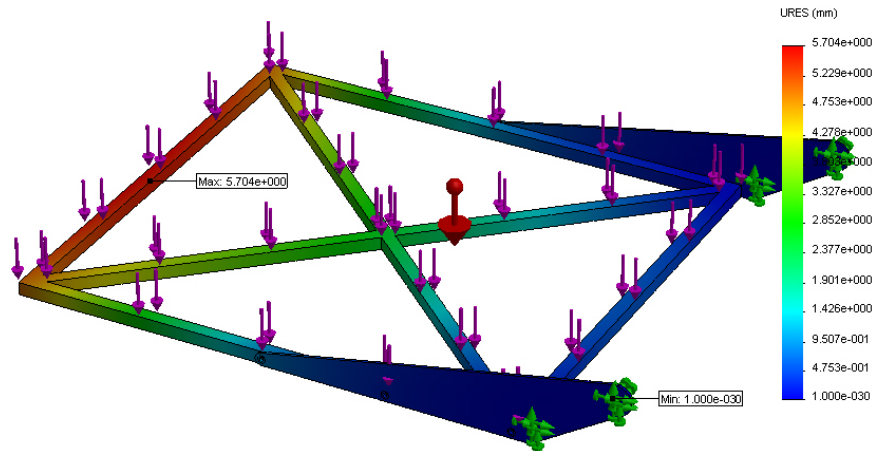
Model name: Wheelchair_stair_lift
Study name: Study 1
Plot type: Static nodal stress Stress1



La figura 38, ilustra el área de mayor deformación debido a la fuerza generada . Se puede apreciar que los soportes laterales tienen una deformación mínima o nula, y la plataforma por el contrario es la pieza que presentara mayor deformación. Sin embargo debido a que el esfuerzo generado no supera el limite de fluencia del material, la deformación alcanzará un máximo de 5 mm únicamente en presencia de la carga.

Figura 38 Análisis de Deformación

Model name: Wheelchair_stair_lift
Study name: Study1
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 1



A partir de los resultados obtenidos en los análisis se puede concluir que el diseño de las placas de soporte lateral no presentaran puntos de falla al ser expuestos a una carga máxima de 200kg, debido a que la concentración esfuerzos máxima en las piezas no supera el limite elástico o el esfuerzo de fluencia del material. Adicionalmente esto implica que aunque las piezas sufren una deformación en estado de carga, esta es minima y no representa daños al dispositivo.

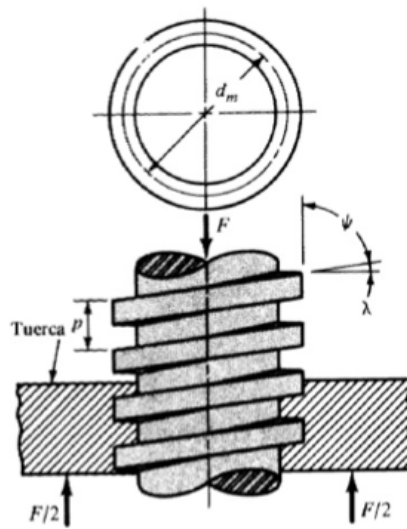
Tabla 7 Resultados del Análisis de Elementos Finitos

Análisis	Tipo	Min	Max
Esfuerzo	VON: Esfuerzo von Mises	40803 N/m ² Nodo: 10108	1.33936e+008 N/m ² Nodo: 8357
Deformación	URES: Desplazamiento Resultante	0 mm Nodo: 1	5.70416 mm Nodo: 12107

7.2 Memorias de Calculo

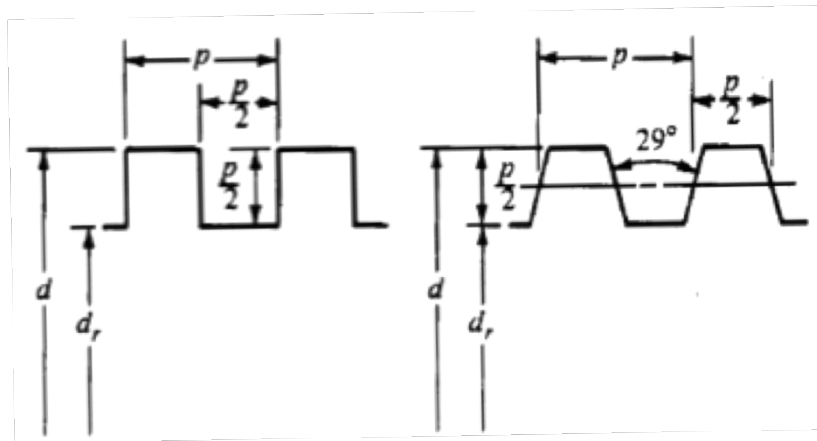
Con el fin de determinar las especificaciones del motor a utilizar, se debe calcular el torque requerido para girar el tornillo sin fin. Este debe cambiar el movimiento angular por lineal con el fin de transmitir potencia.

Figura 39 Esquema del Tornillo de Potencia



Debido a que la función de este mecanismo es la de ejercer fuerza con ventaja mecánica, existen diferentes tipos de roscas que obedecen a diferentes parámetros. Para este caso, aunque las roscas cuadradas tienen un mayor rendimiento, se utilizó el tipo de rosca ACME con un ángulo de 29° (figura 40), debido a que es de fácil construcción y se encuentra normalizado.

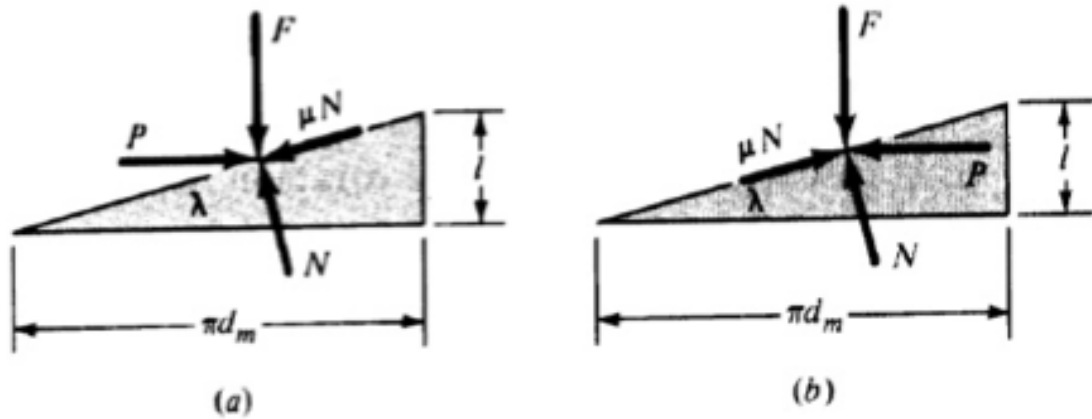
Figura 40 Rosca Cuadrada y ACME



De acuerdo con el análisis⁹ matemático de las fuerzas involucradas en el área de contacto del deslizador con el tornillo de potencia, se puede calcular el torque requerido para desplazar una carga mediante la siguiente formula;

⁹ Universidad de los Andes, Escuela de mecánica. Cátedra de diseño: Tornillos de potencia [en línea].
<<http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/TORNILLOPOTENCIA.pdf>> [citado en 28 Agosto 2010]

Figura 41 Análisis de Fuerzas



$$T = \frac{F * dm}{2} * \left(\frac{l + \pi * \mu * dm * \sec \alpha}{\pi * dm - \mu * l * \sec \alpha} \right)$$

T = Momento requerido para girar el deslizador (Nm)

F = Carga a desplazar (N)

dm = diámetro medio del tornillo. (m)

μ = Coeficiente de fricción entre el tornillo y el deslizador.

$\beta (2\alpha)$ = Angulo de rosca (29° para rosca ACME)

$\lambda = 90^\circ - \alpha$ = ángulo de hélice, o de avance.

l = avance = $\pi * dm * \tan \lambda$ (m)

Partiendo de esta formula y asumiendo los siguientes valores se calculó el torque necesario del motor:

$$F = m * a = 200 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 \approx 2000 \text{ (N)} \quad dm = 0.035 \text{ (m)} \quad \mu = 0.15. \quad \alpha = 14.5^\circ \quad \lambda = 75.5^\circ. \quad l = 0.425 \text{ (m)}$$

$$T \approx 35 \text{ Nm}$$

Finalmente mediante el avance conocido que corresponde al desplazamiento lineal axial del deslizador para una revolución del tornillo, se puede calcular que para lograr la velocidad deseada de 8 m/min, el tornillo sin fin y por ende el motor deben girar a 18.8 rpm aproximadamente. El torque final requerido para cada motor corresponde a 17.5 Nm al distribuir la carga entre los dos motores.

8. VIABILIDAD ECONÓMICA PRELIMINAR

Con la finalidad de estimar la viabilidad económica preliminar del proyecto, la cual permite determinar un punto de referencia para evaluar el proyecto como idea de negocio, se elaboró una tabla de materiales y procesos de manufactura de los elementos requeridos en el diseño, además de sus costos respectivos de una manera general y una estimación del mercado potencial.

8.1 Tabla de Costos y Procesos de Manufactura

A partir de los materiales utilizados y los procesos de manufactura disponibles en la ciudad de Medellín, se elaboró una tabla de los materiales y procesos de manufactura de los elementos que requieren fabricación (Tabla 8).

Tabla 8. Procesos de Manufactura

Pieza	Material	Proceso de Manufactura
Plataforma	-Tubería cuadrada Acero estructural 2mm 1" -Lamina Acero estructural 2.5mm -Lamina Acero estructural 5mm -Tubería circular Acero estructural 2mm 1"	-Corte de tubería en Sierra circular de mesa -Doblado y Corte de Lamina en prensa - Soldadura
Rampa	-Lamina Acero estructural 2.5mm	-Doblado y Corte de Lamina en prensa

Riel	Perlin 1.5mm 3"x ½" -Lamina Acero estructural 2.5mm	-Corte de perfil en cizalla -Corte de Lamina en prensa -Perforado en taladro de banco - Soldadura
Leva	-Bloque de Nylon	- Maquinado en fresadora
Carcasa	-Lamina Acero estructural 1.5mm	-Doblado y Corte de Lamina en prensa -Perforado en taladro de banco - Soldadura
Tornillo sin-fin	-Eje Acero Inoxidable	-Torneado en Torno
Deslizador	-Bloque Nylon	- Maquinado en fresadora
Control	-Lamina Acero estructural 1.5mm	-Doblado y Corte de Lamina en prensa -Perforado en taladro de banco - Soldadura

Estimación de Costos Generales

Con el fin de estimar los costos generales de los componentes del producto, se calculó los costos unitarios de manufactura con base a los precios por hora establecidos por el taller de metal mecánica de la Universidad EAFIT y el tiempo estimado de fabricación de cada pieza , así mismo se buscó proveedores del material requerido con el fin de determinar los costos de la materia prima.

Tabla 9. Costos

Componente	Cant	Costos Unitarios de Materia Prima	Costos Unitarios de Manufactura	Total	Proveedor
Riel	1	CO\$59,000	CO\$85,000	CO\$144,000	Cortes Y Perfiles LTDA
Carcasa Motor	2	CO\$18,000	CO\$11,000	CO\$58,000	Doble Metal LTDA
Motor	2	CO\$320,000		CO\$640,000	Maelin LTDA
Switch de Carrera	4	CO\$2,500		CO\$10,000	Suconel S.A.
Tornillo Sin Fin	2	CO\$375,000	CO\$224,000	CO\$1,198,000	Ferroindustrial S.A.
Deslizador	2	CO\$35,000	CO\$72,000	CO\$214,000	
Plataforma	1	CO\$127,000	CO\$70,000	CO\$197,000	Cortes Y Perfiles S.A.
Bisagra con Resorte de Torsión	1	CO\$60,000		CO\$60,000	Home Center (Sodimac Colombia S.A.)
Bisagra Convencional	8	CO\$2,500		CO\$20,000	Home Center (Sodimac Colombia S.A.)
Rampa	1	CO\$12,000	CO\$10,000	CO\$22,000	Doble Metal S.A.
Leva	1	CO\$15,000	CO\$12,000	CO\$27,000	

Control (tarjeta electrónica)	3	CO\$25,000	CO\$60,000	CO\$255,000	Suconel S.A.
Botón	9	CO\$3,000		CO\$27,000	Suconel S.A.
Total				CO\$2,872,000	

8.2 Estimación de Mercado Potencial

El mercado potencial del sistema salva desniveles para personas con discapacidad en su movilidad puede ser delimitado en dos segmentos, el primero son todas aquellas personas con dificultad en su movilidad dentro de un entorno domestico, que les impide un normal desplazamiento en espacios que presentan desniveles y que tienen la capacidad adquisitiva para comprar el producto. Para dicho segmento no se tiene un cifra exacta, pues no existe un estudio formal actual sobre el porcentaje de personas discapacitadas en Colombia, sin embargo la OMS estima que para Colombia el 12% de la población puede presentar alguna condición de discapacidad, paralelo a esto las estadísticas de ingreso per cápita y estrato social generadas por el DANE, no permiten establecer un porcentaje sobre dicho 12% (5 millones de personas) para determinar las consumidores potenciales del producto, sin embargo con fines de calcular el mercado potencial es prudente estimar que el 0.005% de la población en discapacidad considerada por la OMS, podría ser el mercado potencial del sistema salva desniveles, es decir alrededor de 2700 personas en condiciones de discapacidad podrían comprar el producto.

El segundo segmento del mercado potencial para el sistema, son las entidades públicas que por el decreto 1538 del 2005 necesitan de un sistema para superar los desniveles desde el andén hasta el acceso del edificio o las privadas que consideren la importancia en la accesibilidad de las personas con discapacidad. Identificar o delimitar el número o

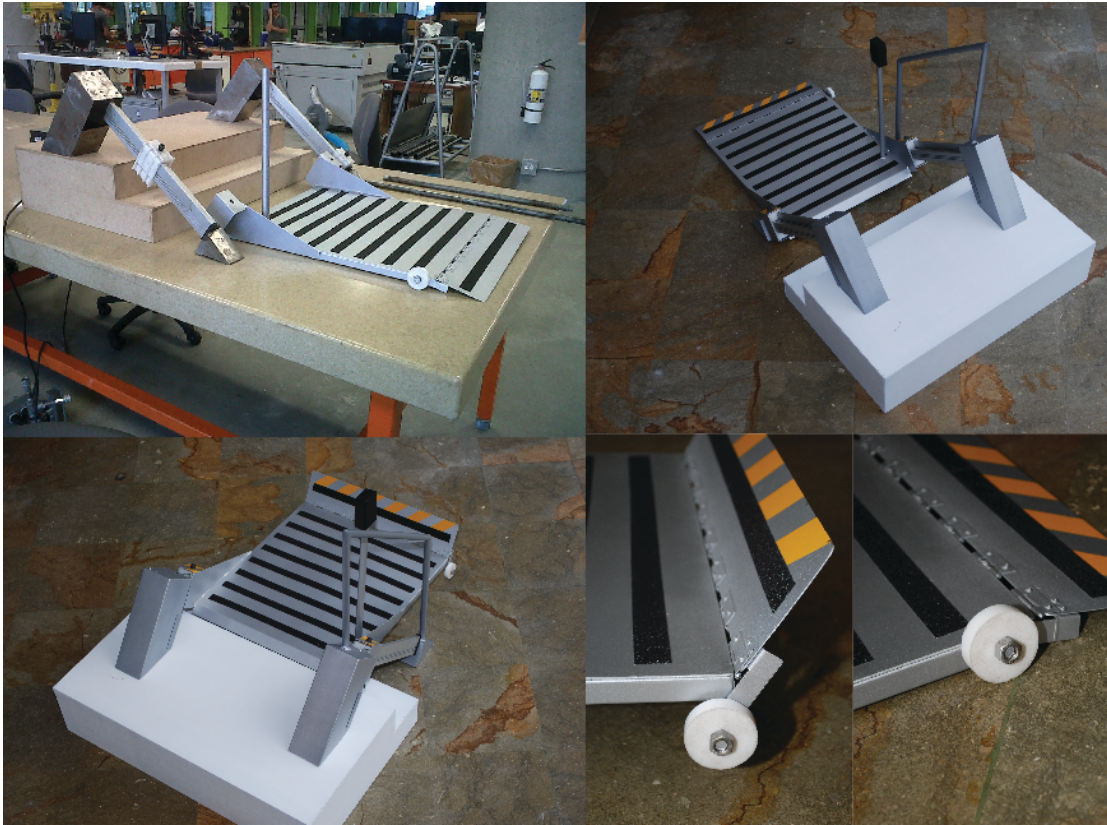
porcentaje de entidades que requieran o deseen incorporar sistemas de accesibilidad en sus instalaciones, es prácticamente imposible, aunque se contara con un dato de las entidades públicas o privadas que existen en Colombia, se encuentran limitantes que van mas allá del poder adquisitivo o la necesidad de cumplir las leyes establecidas en la constitución política colombiana, culturalmente no se tiene una conciencia hacia las personas en situación de discapacidad.

9. PROTOTIPO EXPERIMENTAL

A partir del concepto desarrollado en el libro *Product Design: Techniques in reverse engineering and new product development* (Otto & Wood , 2001) se desarrollo un prototipo experimental que consiste de un modelo del sistema y subsistemas del producto diseñado a partir de materiales y procesos de manufactura similares al de la propuesta final. El prototipo es lo suficientemente similar para replicar el funcionamiento pero fabricado de manera simple, rápida y económica

Este prototipo fue desarrollado a escala 1:2 debido a la complejidad y costos involucrados para ser elaborado. El prototipo pretende visualizar el principio de funcionamiento y el concepto en general con el fin de establecer una base para el desarrollo de propuestas similares.

Figure 42. Prototipo Experimental



9. CONCLUSIONES

A partir de la investigación del estado del arte se puede establecer que no existe una solución económicamente viable en el mercado para salvar desniveles de poca altura y alcance horizontal (Ej. 2-5 escalones) que no presenten el espacio adecuado para construir una rampa ni el espacio adyacente para implementar un elevador vertical

Es posible desarrollar un sistema salva desniveles con manufactura nacional que cumpla con los requerimientos necesarios en materia de accesibilidad y que a su vez represente una posibilidad económica para los compradores, puesto que el precio de los dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado oscila entre \$12'000.000 y \$70'000.000 de pesos. La propuesta desarrollada puede costar aproximadamente \$3'000.000 de pesos para desniveles de hasta cuatro escalones, sin embargo su precio varia acorde con la longitud de los desniveles, aun así, su costo total continua siendo significativamente inferior.

Aunque se pueda desarrollar un dispositivo salva desniveles económico y funcional, la poca responsabilidad social puede ser el mayor obstáculo para la solución de la situación de accesibilidad para personas discapacitadas en Colombia.

Con el fin de satisfacer las necesidades específicas de accesibilidad, los dispositivos deben ser diseñados para uso exclusivo de personas en situación de discapacidad (toda persona que presente dificultad en el desplazamiento y utiliza o no bastones, caminadores o sillas

de ruedas, entre otros) debido a que presenta especificaciones técnicas como es el tamaño de la plataforma, la velocidad de recorrido y la capacidad de peso que no los hace aptos para utilizarlos como elevadores de carga u otros fines.

BIBLIOGRAFÍA

ULRICH, K., & EPPINGER, S. (2004). Product Design and Development. New York: McGraw-Hill/Irwin, 3rd Ed.

OTTO, K., & WOOD, K. (2001). Product Design: Techniques in reverse engineering and new product development. New Jersey: Prentice Hall.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). PUBLICACION: La Discapacidad En América Latina, 2010.

PROGRAMA DE DERECHOS HUMANOS Y DISCAPACIDAD. Marco legal de la Salud [en línea]. <<http://www.discapacidad.gov.co/salud/marcolegal.htm>> [citado en 18 junio 2010]

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1538, 17 Mayo 2005. Capitulo Tercero Accesibilidad A Edificios Abiertos Al Público. Constitución Política de Colombia.

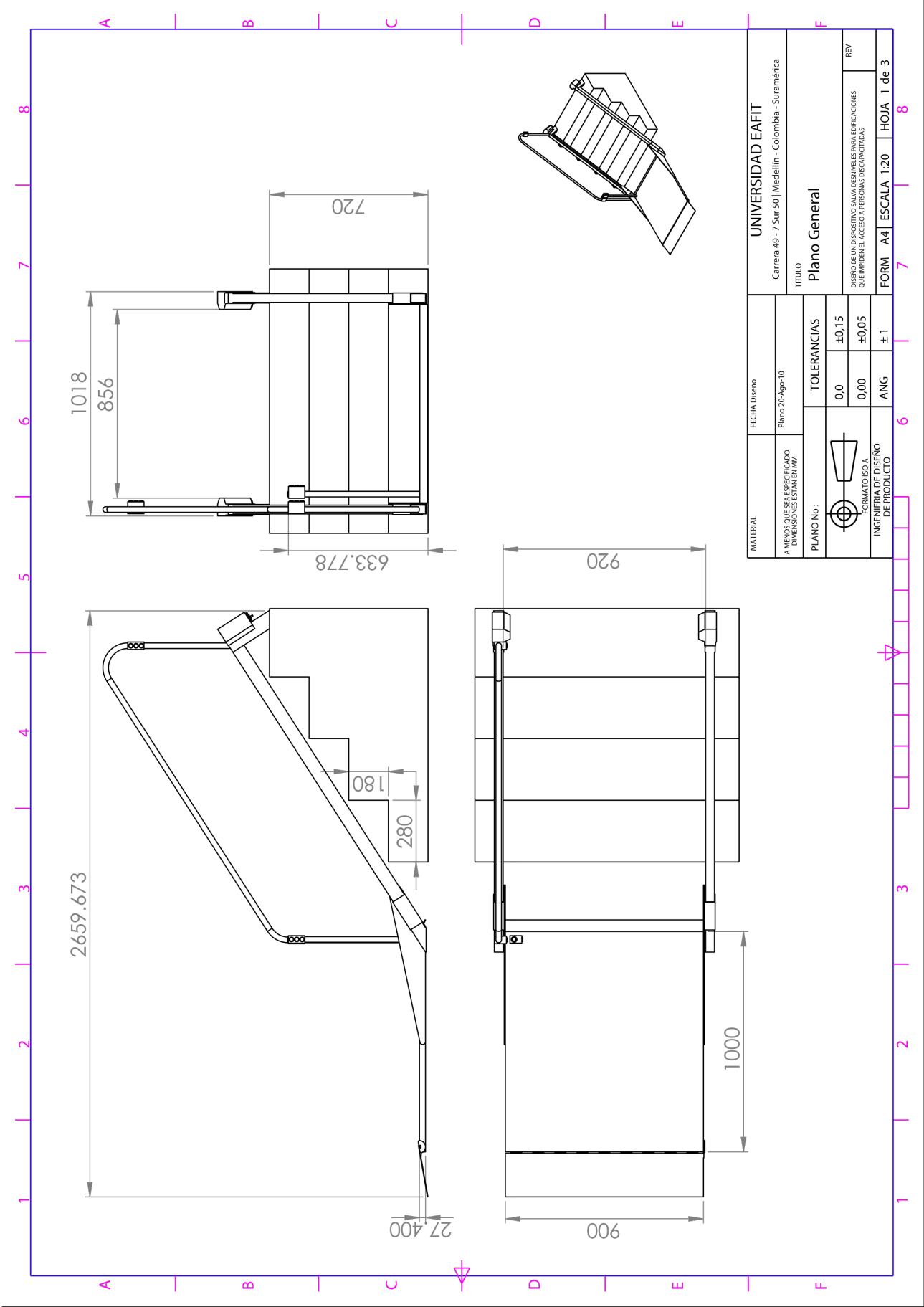
Universidad de los Andes, Escuela de mecánica. Cátedra de diseño: Tornillos de potencia [en línea].

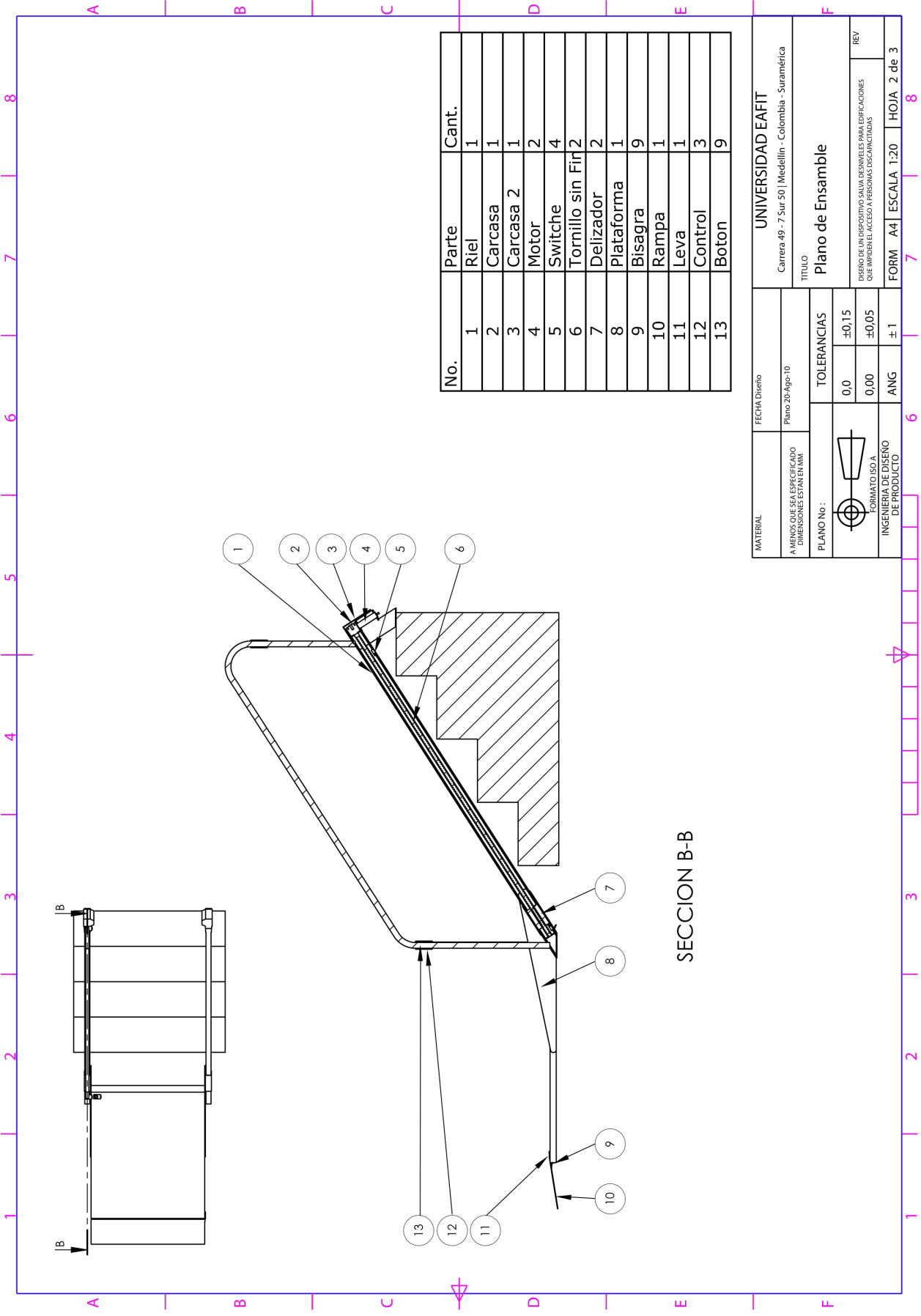
<<http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/TORNILLOPOTENCIA.pdf>>

[citado en 28 Agosto 2010]

ANEXOS

ANEXO A - PLANOS

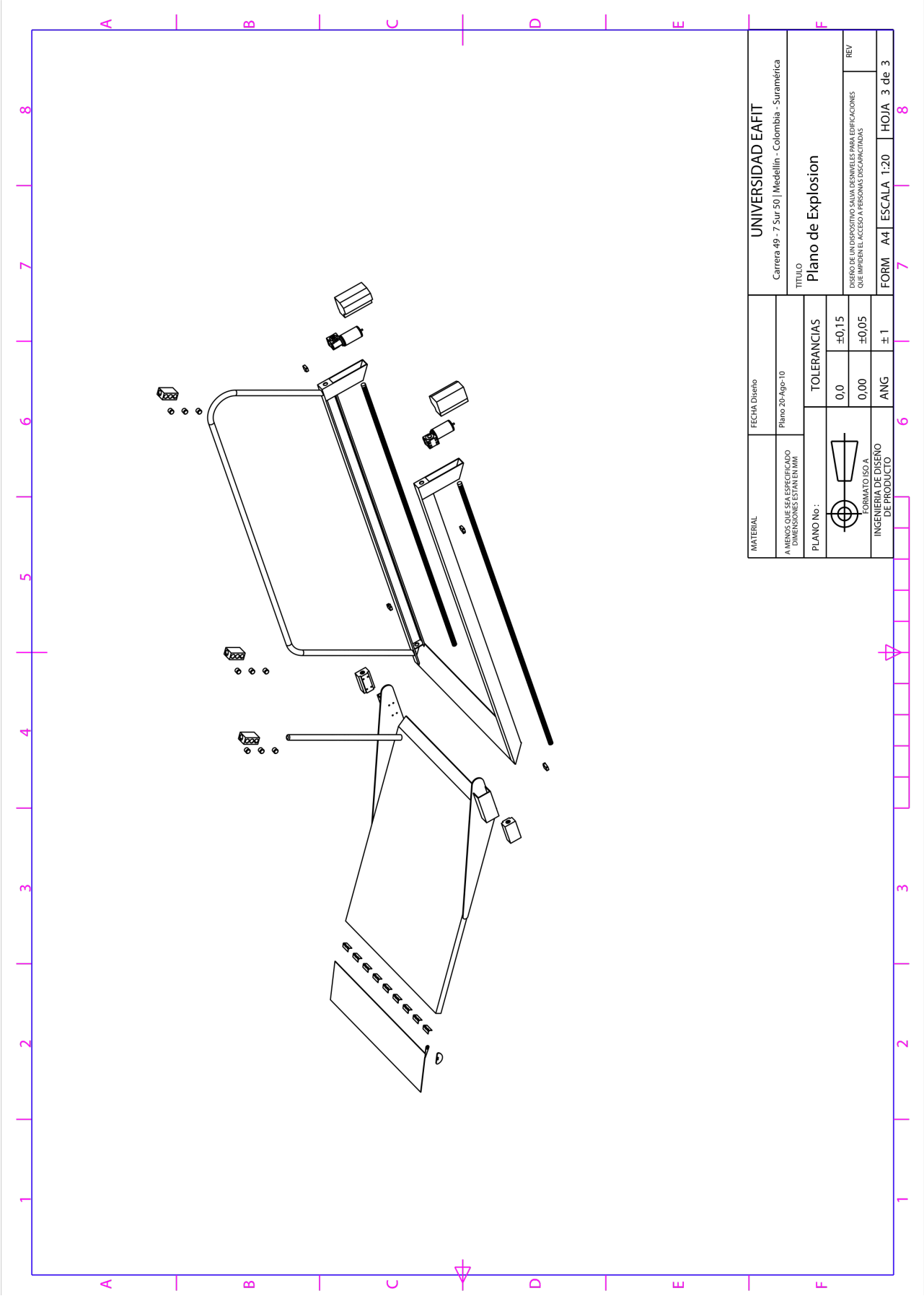




No.	Parte	Cant.
1	Riel	1
2	Carcasa	1
3	Carcasa 2	1
4	Motor	2
5	Switche	4
6	Tornillo sin Fir	2
7	Delizador	2
8	Plataforma	1
9	Bisagra	9
10	Rampa	1
11	Leva	1
12	Control	3
13	Boton	9

MATERIAL		FECHA Diseño		UNIVERSIDAD EAFIT	
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM		Plano 20-Ago-10		Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica	
PLANO No :		TOLERANCIAS		TITULO	
 FORMATO ISO A INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO		0,0	±0,15	Plano de Ensamble	
		0,00	±0,05		
		ANG	± 1	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO SALVA DESNIVELES PARA EDIFICACIONES QUE IMPIDAN EL ACCESO A PERSONAS DISCAPACITADAS	
				FORM A4	ESCALA 1:20
				HOJA 2 de 3	REV

SECCION B-B



MATERIAL	FECHA DISEÑO		UNIVERSIDAD EAFIT		
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM	Plano 20-Ago-10		Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica		
PLANO No :	TOLERANCIAS		TÍTULO		
 FORMATO ISO A INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO	0,0	±0,15	Plano de Explosion		
	0,00	±0,05			
	ANG	± 1	DISEÑO DE UN DISPOSITIVO SALVA DESNIVELES PARA EDIFICACIONES QUE IMPIDEN EL ACCESO A PERSONAS DISCAPACITADAS		
			FORM	A4	ESCALA 1:20
			HOJA		3 de 3

ANEXO B – ENCUESTA

ENCUESTA: Sistemas salva desniveles para personas discapacitadas

Somos estudiantes de la Universidad de EAFIT en la labor de realizar una investigación de mercados. El propósito de este cuestionario es el de Identificar las expectativas y experiencias de personas discapacitadas acerca de los sistemas salva desniveles presentes en el mercado.

Toda la información proporcionada en esta investigación es confidencial y utilizada para fines académicos solamente.

A continuación se presentará un ejemplo de los diferentes tipos de sistemas salva desniveles clasificados en tres categorías.



Elevador Inclinado

Elevador Vertical

Elevador Escalador

1. Nombre y Apellido

2. Presenta algún tipo de discapacidad física (permanente o temporal) para la movilidad que le impida utilizar escaleras? (*)

Si

No

3. Ha utilizado algún tipo de sistema salva desniveles? (*)

Si

No

4. Si usted a utilizado algún tipo de sistema salva desniveles especifique que tipo ha utilizado?

Elevador Inclinado

Elevador Escalador

Elevador Vertical

Otro

5. Califique el grado en el que usted utilizaría los sistemas salva desniveles. (*)

	No lo utilizaría	Probablemente no lo utilizaría	Probablemente lo utilizaría	Lo utilizaría
Elevador Inclinado				
Elevador Vertical				
Elevador Escalador				

6. Califique el grado de seguridad de los sistemas salva desniveles desde su experiencia o percepción, siendo 1 muy inseguro y 5 muy seguro. (*)

	1	2	3	4	5
Elevador Inclinado					
Elevador Vertical					
Elevador Escalador					

7. Considera usted que los sistemas salva desniveles deberían poder ser operados de forma autónoma por el usuario? (*)

Si

No

8. Califique el nivel de eficiencia de los sistemas salva desniveles de acuerdo con su experiencia o percepción. siendo 1 muy ineficaz y 5 muy eficaz. (*)

	1	2	3	4	5
Elevador Inclinado					
Elevador Vertical					
Elevador Escalador					

9. Escriba libremente las observaciones que tiene acerca de los sistemas salva desniveles presentes en el mercado.

ANEXO C – NORMA NTC 4145 ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA

NTC
4145

PRÓLOGO

2004-05-31

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de derecho público que tiene como misión brindar soporte y desarrollo técnico y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y empresarial para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 4145 (Segunda actualización) fue ratificada por el Consejo Técnico del 2004-05-31.

Esta norma está sujeta a una revisión permanente con el fin de que responda en todo momento a las necesidades tecnológicas actuales.



ICONTEC

E: ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO.
EDIFICIOS. ESCALERAS

CORRESPONDENCIA: esta norma es una adopción idéntica (IDT) por transcripción de la COPANT 1620:2000 Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios escolares.

DESCRIPTORES: discapacidad; escaleras; accesibilidad



CALIDAD

CONSTRUCCIONES CON CALIDAD Ltda.

Nit.: 809.010.620-4

I.C.S.: 11.180.00; 91.060.30

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

Segunda actualización
Editada 2004-06-15



created using
**BCL easyPDF
Printer Driver**

[Click here to purchase a license to remove this image](#)

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el periodo de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 4145 (Segunda Edición) fue ratificada por el Consejo Directivo del 2004-05-31.

Esta norma está sujeta a actualización permanente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades tecnológicas actuales.

A continuación se listan las entidades que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité de Asesoría Técnica de Accesibilidad al Medio físico.

ACAIRE
CENTRO DE REHABILITACIÓN PARA EL NIÑO DIFERENTE
ADULTOS CIEGOS - AC-
CORPORACIÓN ALPICO

Además de las anteriores, en Consulta Pública se recibieron aportes a consideración de las siguientes empresas:

ACCEGAS INGENIEROS	INSTITUTO COLOMBIANO DE
COMITÉ REGIONAL DE REHABILITACIÓN	REHABILITACIÓN Y ORTOPEDIA -
DE ANTIOQUIA - CARRV	FRANKLIN ROOSEVELT -
CONSEJO DE DISCAPACIDAD	INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO
LOCALIDAD 6	INSTITUTO NACIONAL PARA CIEGOS -
CORPORACIÓN ALBERTO ARANGO	INCI-
RESTREPO - CEDER-	INSTITUTO NACIONAL PARA SORDOS -
CORPORACIÓN REGIONAL DE	INSOR-
REHABILITACIÓN DEL VALLE - CRRV-	INVIAS
FUNDACIÓN "YO PUEDO"	MINISTERIO DE COMERCIO DE
FUNDACIÓN CENTRO PARA LA	INDUSTRIA Y TURISMO
PREVENCIÓN Y REHABILITACIÓN	MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL
INTEGRAL - CINDES-	MINISTERIO DE TRANSPORTE
FUNDACIÓN CIREC	MULTIPARTES
FUNDACIÓN DISCALAR	PABONS
FUNDACIÓN IDEAL PARA LA	RED PUNTO VISIÓN
REHABILITACIÓN INTEGRAL "JULIO H	SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y
CALONJE" - IDEAL-	TRANSPORTE
FUNDACIÓN SILDARRIAGA CONCHA	

TELETÓN
TRANSMILENIO

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

ICONTEC cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

**ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO.
EDIFICIOS. ESCALERAS**

1. OBJETO

Esta norma establece las condiciones mínimas y las características generales que deben cumplir las escaleras en los edificios, advirtiéndose que no se constituyen en un elemento idóneo para la accesibilidad plena. Es necesario por tanto que coexista un medio adecuado para la accesibilidad plena.

2. REFERENCIAS

Los siguientes documentos normativos son indispensables para la aplicación de este documento normativo. Para su aplicación se aplica la edición citada. Para referencias normativas, se aplica el documento normativo referenciado (incluida cualquier modificación).

NTC 4144:1997, Accesibilidad de las personas con discapacidad. Segunda actualización.

NTC 4201:1997, Accesibilidad de las personas con discapacidad. Equipamiento. Bordillos, pasamanos y agarres.

3. REQUISITOS GENERALES

3.1 DIMENSIONES

3.1.1 Ancho

Las escaleras en el interior de las viviendas deberán tener un ancho mínimo de 90 cm.

Las escaleras de uso público deberán tener un ancho mínimo de 120 cm.

Si la separación de los pasamanos a la pared supera 50 mm, el ancho de la escalera debe incrementarse en igual magnitud.

3.1.2 Contrahuella

Las contrahuellas deben tener una altura menor o igual a 18 cm.

3.1.3 Huella

Las dimensiones de las huellas deben ser las que resulten de aplicar la fórmula:

$$2a + b = 60 / 64 \text{ cm}$$

en donde

a = contrahuella en cm

b = huella en cm

3.1.4 Tramos rectos

La escalera podrá tener tramos rectos sin descanso de hasta 18 escalones máximo.

3.1.5 Descansos

Los descansos deben tener el ancho y la profundidad mínima coincidiendo con el ancho de la escalera.

3.2 CARACTERÍSTICAS

Las huellas deben tener el borde o arista redondeados, con un radio de curvatura máximo de 1 cm y de forma que no sobresalga del plano de la contrahuella.

Las contrahuellas no deberán ser caladas.

El ángulo que forma la contrahuella con la huella, debe ser de 90°.

Los pisos deben ser antideslizantes, sin relieves en su superficie, con las puntas diferenciadas visualmente.

Los escalones aislados, deberán presentar textura, color e iluminación que los diferencie del pavimento general.

Las escaleras deben estar debidamente señalizadas, de acuerdo con la NTC 4144.

3.3 PASAMANOS

Las escaleras deben tener pasamanos a ambos lados que cumplan con la NTC 4201, continuos en todo su recorrido y con prolongaciones horizontales mayores de 30 cm al comienzo y al final de aquellas.

Los pasamanos deben tener una señal sensible al tacto que indique la proximidad de los límites de la escalera.

Se coloca un pasamanos a 90 cm de altura y otro a 70 cm de altura. Las alturas se miden verticalmente desde la arista exterior (virtual) de la escalera, con tolerancias de ± 5 cm.

Se recomienda que, en escaleras de ancho superior al doble del mínimo, se coloquen pasamanos intermedios espaciados como mínimo de 90 cm o 120 cm según corresponda. (véase el numeral 3.1.1).

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4145 (Segunda actualización)

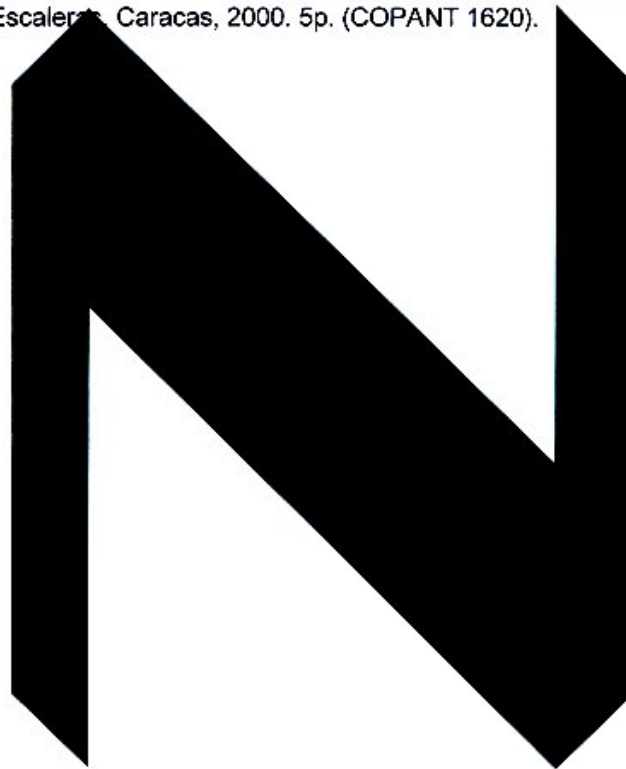
4. REQUISITOS PARTICULARES**4.1 ESCALERAS CONFORMADAS CON SUCESSIONES DE ESCALONES SIMPLES Y DESCANSOS**

Deberán cumplir con las siguientes condiciones:

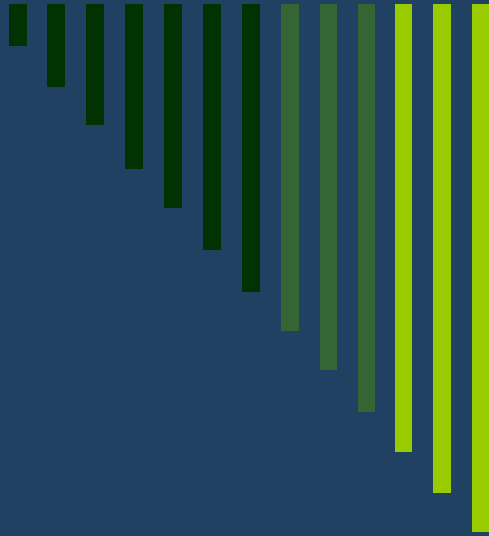
- tener una huella mayor o igual a 120 cm, con contrahuella menor de 18 cm.
- el ancho mínimo debe ser de 120 cm.

DOCUMENTO DE REFERENCIA

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios. Escaleras. Caracas, 2000. 5p. (COPANT 1620).



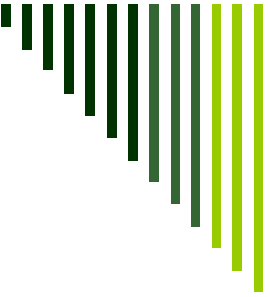
ANEXO D – CALCULOS TORNILLOS DE POTENCIA



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
ESCUELA DE MECANICA
CATEDRA DE DISEÑO

TORNILLOS DE POTENCIA

MÉRIDA 2010

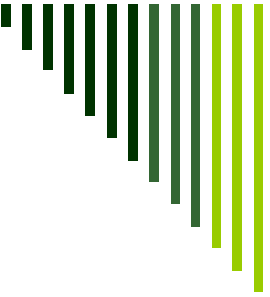


ELEMENTOS DE MAQUINAS II

INTRODUCCIÓN

A través de estos elementos de maquinas, denominados también tornillos de fuerza, es posible transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo con el objeto de transmitir fuerza o potencia, derivándose de esto ultimo el nombre de tornillos de potencia.

Generalmente trabajan con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste y el calentamiento son consideraciones importantes para su diseño, además de las consideraciones de resistencia mecánica, donde entra en juego el estado de esfuerzos involucrados como resultado del estado de cargas actuante en el punto critico.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

TIPOS DE ROSCAS UTILIZADAS

Los tipos de roscas utilizados frecuentemente en los tornillos de potencia son la cuadrada (Fig 2a) y la Acme (Fig. 2b).

La rosca cuadrada es la que posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca Acme, con un ángulo de 29° , por su buen ajuste; además tomando en consideración que la rosca cuadrada no esta normalizada mientras que la Acme es de fácil construcción mediante todos los procedimientos existentes.

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

TIPOS DE ROSCAS UTILIZADAS

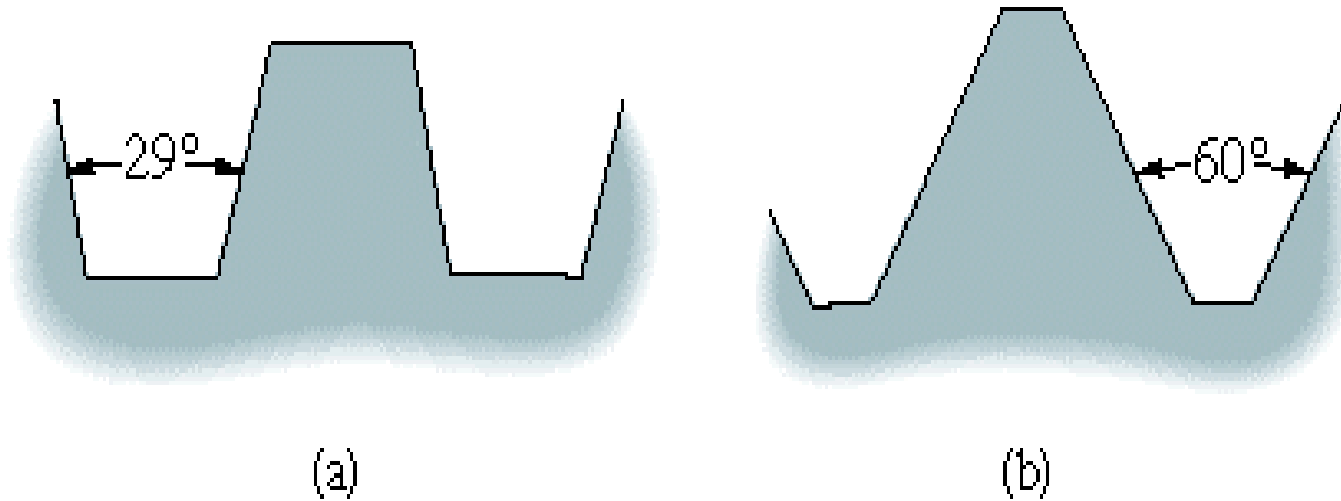
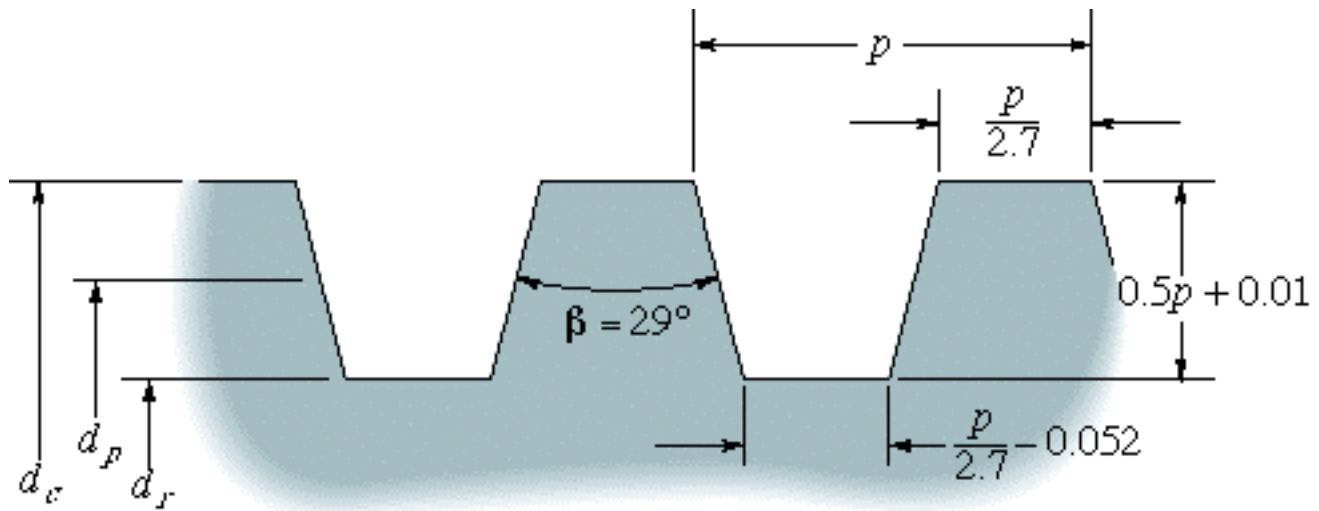


Figura 2. (a) Rosca Acme,

(b) Rosca Unificada

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

TIPOS DE ROSCAS UTILIZADAS



Figuras 3. Detalles del perfil de la rosca Acme (para dimensiones en pulg.)

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

TIPOS DE ROSCAS UTILIZADAS

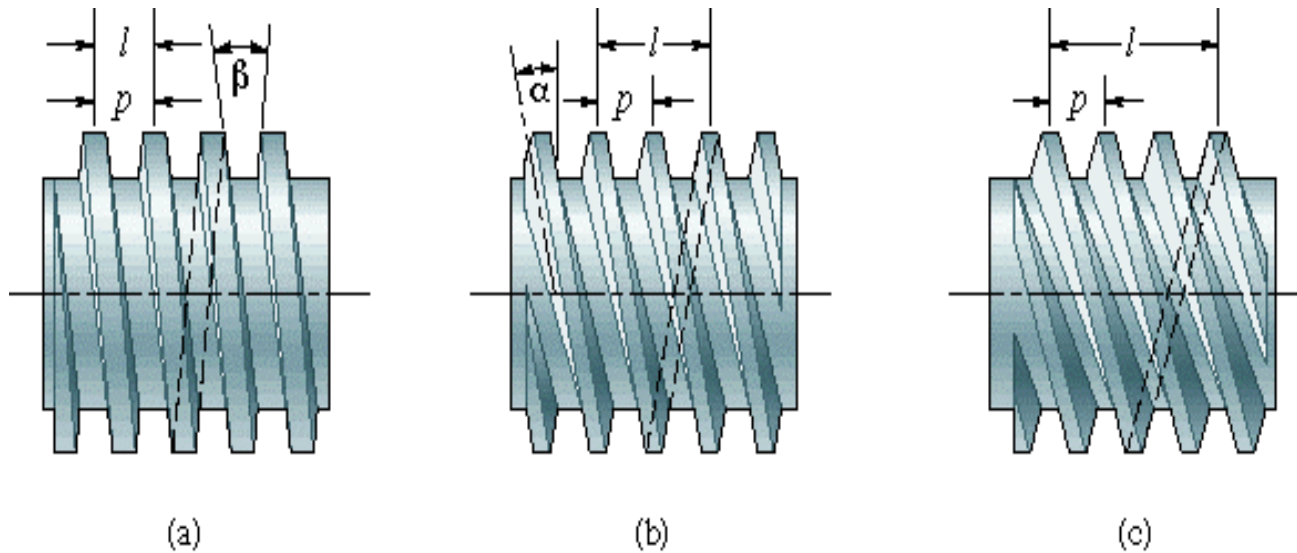
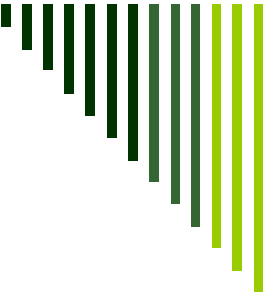


Figura 4. Tipos de rosca, (a) simple, (b) doble, (c) Rosca de triple entrada.



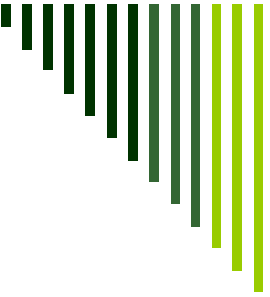
ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIONES

Las aplicaciones de los tornillos de potencia se derivan de sus cualidades mas resaltantes, entre las que se encuentran:

- Sencillez en su diseño
- Posibilidad de fabricación con gran exactitud
- Bajo costo
- Elevado rozamiento entre las roscas
- Baja eficiencia en la transmisión.

La ultima cualidad que constituye una característica desventajosa puede solventarse por medio del uso de rodamientos de bolas, que tienden a disminuir el rozamiento y por tanto a incrementar dicha eficiencia.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II APLICACIONES

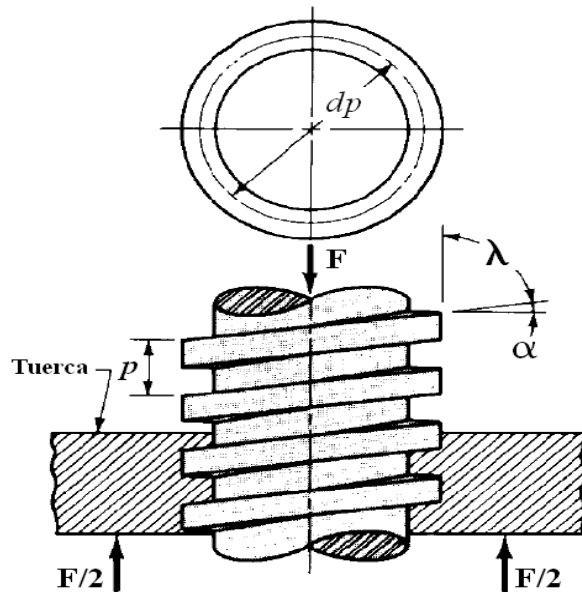
Todo lo anteriormente descrito, determina el campo de aplicación de estos elementos mecánicos, como son:

- Gatos mecánicos
 - Prensa de tornillo
 - Tornillos de avance de maquinas herramientas
 - Dispositivos de apriete de trenes de laminado
 - Maquinas universales de tracción y compresión
-

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

En la figura 5 se muestra una rosca cuadrada simple de un tornillo de potencia, indicándose sus características principales:



λ : ángulo de avance

α : ángulo de hélice

p : paso

dp : diámetro medio

Figura 5 rosca cuadrada simple de un tornillo de potencia

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

A continuación se realizara un análisis para determinar las expresiones matemáticas a utilizar cuando se gira un tornillo contra la carga, es decir, cuando se vence el roce y se eleva la carga. En la figura 6 a y 6 b se representan las cargas que interactúan entre las roscas.

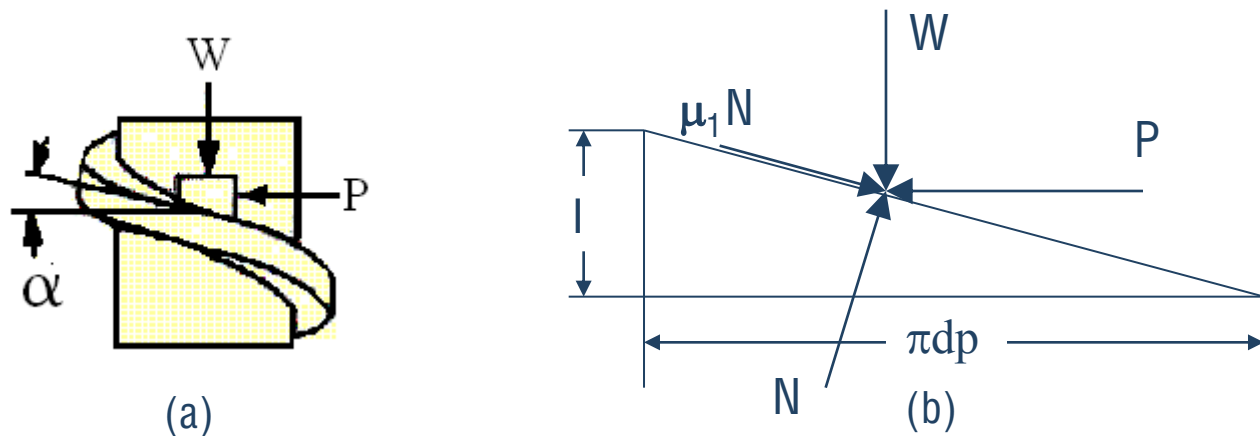
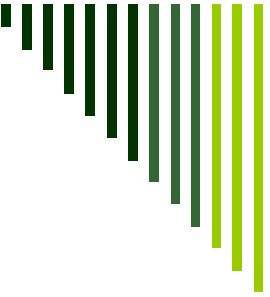


Figura 6 Cargas interactuando sobre la rosca durante la elevación de una carga W



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

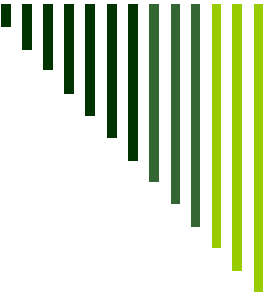
Bajo la acción de cargas definidas en la fig. 6, el sistema se encuentra en equilibrio estático, por tanto:

$$\sum F_H = P - \mu_1 N \cos \alpha - N \sin \alpha = 0 \quad (\text{Ec 2.1})$$

$$\sum F_V = W + \mu_1 N \sin \alpha - N \cos \alpha = 0 \quad (\text{Ec 2.2})$$

De donde se obtiene que N es:

$$N = \frac{W}{\cos \alpha - \mu_1 \sin \alpha} \quad (\text{Ec 2.3})$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

La componente P representa la carga necesaria para producir el movimiento hacia la izquierda, dando lugar a que esta tienda a desplazarse hacia arriba a medida que P lo impulsa en esa dirección. El valor de la carga P se determina a partir de:

$$P = \frac{\text{sen}\alpha + \mu_1 \text{cos}\alpha}{\text{cos}\alpha - \mu_1 \text{sen}\alpha} W \quad (\text{Ec 2.4})$$

Además, de la geometría de la figura 6 b donde se muestra el desarrollo de un filete de la rosca del tornillo con respecto al diámetro primitivo, se obtiene:

$$\tan\alpha = \frac{1}{\pi d_p} \quad (\text{Ec 2.5})$$

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

En la figura 7 se muestra aplicaciones con collar de empuje y collarín, en los cuales la rotación del tornillo se generan cargas de rozamiento que se oponen al movimiento en la superficie entre el peso y tornillo y también entre el collarín y la base de apoyo.

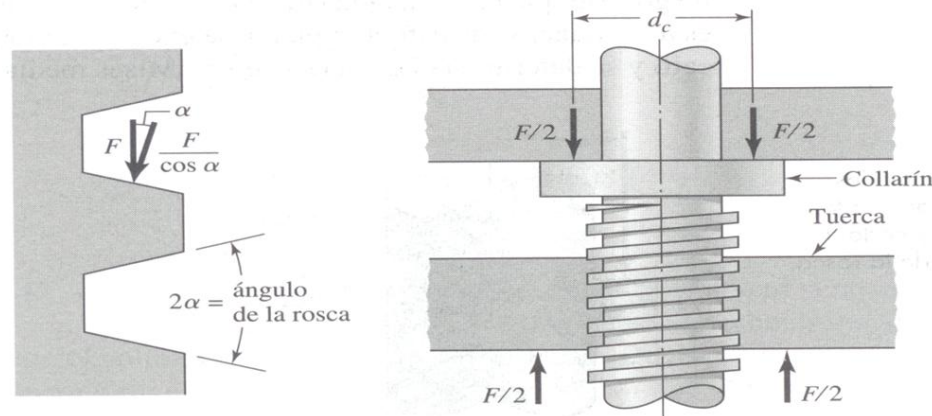
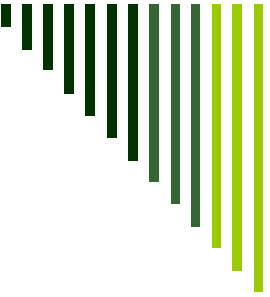


Fig. 7 Aplicaciones de tornillo con collarín



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

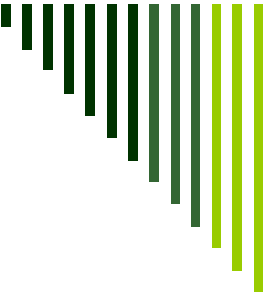
APLICACIÓN DE CARGA

En el caso de la figura 7, el momento torsional que se debe aplicar para elevar la carga será el producto de la carga P y el radio primitivo $r_p = (d_p/2)$, obteniéndose la expresión:

$$T = \frac{(1 + \mu_1 \pi d_p) W d_p}{(\pi d_p - \mu_1 l) 2} \quad (\text{Ec 2.6})$$

En el caso de utilizar collarín en la aplicación, al momento torsor obtenido a través de la Ec. 2.6 se le superpone una tercera componente T_c , expresada por:

$$T = \frac{\mu_2 d c}{2} W \quad (\text{Ec 2.7})$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

Luego;

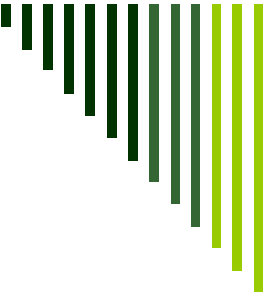
$$T = \frac{(1 + \mu_1 \pi d_p)}{(\pi d_p - \mu_1 l)} \frac{W d_p}{2} + \frac{\mu_2 d_c}{2} W \quad (\text{Ec 2.8})$$

Donde:

T : momento torsional necesario para elevar la carga

μ_2 : coeficiente de fricción en el collarín

dc : diámetro medio del collarín.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIONES

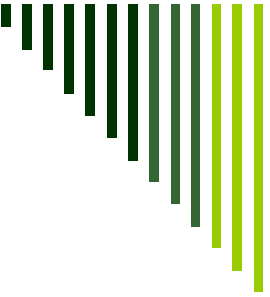
De forma similar a las condiciones para subir la carga, puede realizarse el análisis para determinar expresiones para el momento torsional necesario para bajar la carga, llegándose a las ecuaciones:

$$T = \frac{(\mu_1 \pi d_p - 1) W d_p}{(\pi d_p + \mu_1 l) 2} \quad (\text{Ec 2.9})$$

Para el caso sin collarín, y

$$T = \frac{(\mu_1 \pi d_p - 1) W d_p}{(\pi d_p + \mu_1 l) 2} + \frac{\mu_2 d_c}{2} W \quad (\text{Ec 2.10})$$

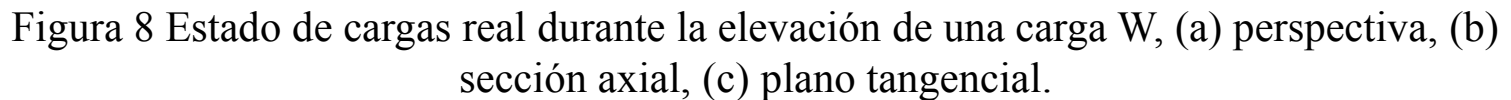
En el caso de usar collarín

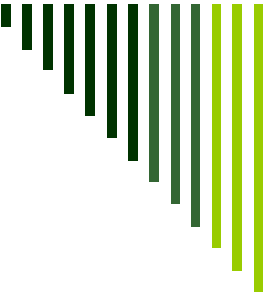


ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIONES

En el caso de rosca Acme o Unificada, la carga normal deja de ser paralela al eje longitudinal del tornillo y su línea de acción queda inclinada con respecto a dicho eje, motivado al ángulo de rosca 2θ , al ángulo θ_n entre la carga normal N y el plano tangencial, y al ángulo de hélice α . Sin embargo, dado los valores pequeños de estos últimos. Dicha inclinación puede despreciarse y considerar solamente el efecto del ángulo de la rosca.





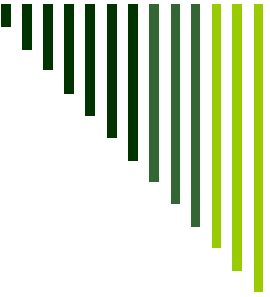
ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

El efecto del ángulo θ es incrementar la fricción existente entre la rosca, debido a la acción de acuanamiento de los hilos o filetes. Por tanto, los términos en donde interviene la fricción en las Ec. 2.6, 2.8, 2.9, y 2.10, se deberán dividir por $\cos\theta$ a objeto de considerar dicho efecto, llegándose a:

Para elevar carga sin collarín:

$$T = \frac{1 + \mu_1 \pi \, dp \, \sec\theta}{\pi \, dp - \mu_1 l \, \sec\theta} \frac{W \, dp}{2} \quad (\text{Ec 2.11})$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

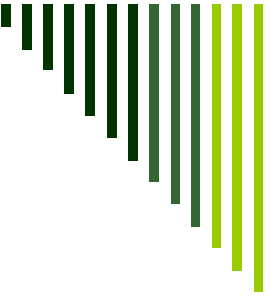
APLICACIÓN DE CARGA

Para bajar carga sin collarín.

$$T = \frac{\mu_1 \pi d p \sec \theta - 1}{\pi d p + \mu_1 l \sec \theta} \frac{W d p}{2} \quad (\text{Ec 2.12})$$

Para elevar carga con collarín:

$$T = \frac{1 + \mu_1 \pi d p \sec \theta}{\pi d p - \mu_1 l \sec \theta} \frac{W d p}{2} + \frac{\mu_2 d c}{2} W \quad (\text{Ec 2.13})$$



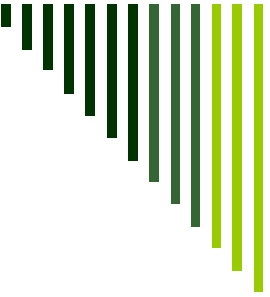
ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

Para bajar carga con collarín:

$$T = \frac{\mu_1 \pi dp \sec\theta - 1}{\pi dp + \mu_1 l \sec\theta} \frac{W dp}{2} + \frac{\mu_2 dc}{2} W \quad (\text{Ec 2.14})$$

Comúnmente, aún cuando exista collarín, el mismo se compone de un rodamiento de bolas, en cuyo caso el coeficiente de fricción μ_2 puede considerarse lo suficientemente pequeño para no ser tomado en cuenta, por lo que las Ecs. 2.12 y 2.14 contienen únicamente los términos en μ_1



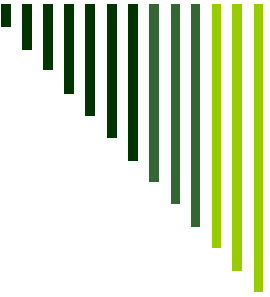
ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIÓN DE CARGA

TORNILLO IRREVERSIBLE O AUTOAJUSTABLE

En aplicaciones de tornillos de potencia donde el avance es relativamente grande y el rozamiento es bajo, pueden darse situaciones donde la carga desciende por si sola, simulando el comportamiento de un objeto sobre un plano inclinado, haciendo que el tornillo gire sin ninguna acción externa. En tales casos el momento torsional para bajar la carga es negativo o simplemente nulo.

Se le llama tornillo irreversible o autoasegurante, a aquel que requiere un momento torsional positivo para hacer descender la carga.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

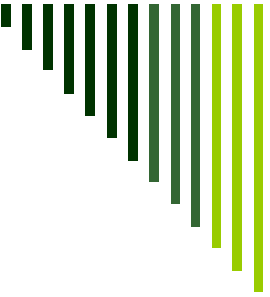
APLICACIÓN DE CARGA

La condición de irreversibilidad puede obtenerse para el caso de un tornillo de rosca cuadrada sin collarín, a partir de la Ec. 2.9, donde para que el momento torsional sea positivo debe cumplirse que:

$$\mu_1 > \tan \alpha \quad (\text{Ec 2.15})$$

La condición de irreversibilidad para un tornillo de rosca Acme o Unificada, se obtiene que:

$$\mu_1 > \frac{1}{\pi \, dp \, \sec \theta} \quad (\text{Ec 2.16})$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

RENDIMIENTO

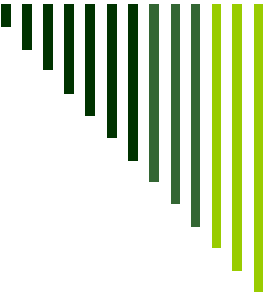
RENDIMIENTO

El rendimiento es un termino útil para evaluar el adecuado funcionamiento de los tornillos de potencia. Puesto que para la condición ideal se tiene que $\mu_1 = \mu_2 = 0$, el momento torsional para elevar carga sin efecto de rozamiento se determina de:

$$T_0 = \frac{Wl}{2\pi} \quad (\text{Ec 2.17})$$

Donde:

T_0 = momento torsional necesario para elevar carga sin efectos de fricción.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

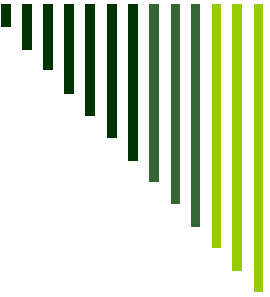
RENDIMIENTO

Entonces el rendimiento η se determina de:

$$\eta = \frac{T_o}{T} = \frac{W_l}{2\pi T} \quad (\text{Ec 2.18})$$

Al sustituir queda:

$$\eta = \frac{1 - \mu_1 \tan \alpha}{1 + \mu_1 \cot \alpha} \quad (\text{Ec 2.19})$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

RENDIMIENTO

Para las roscas Acme o Unificadas podemos obtener el rendimiento a partir de:

$$\eta = \frac{\cos\theta_n - \mu_1 \tan\alpha}{\cos\theta_n + \mu_1 \cot\alpha} \quad (\text{Ec 2.20})$$

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

APLICACIONES

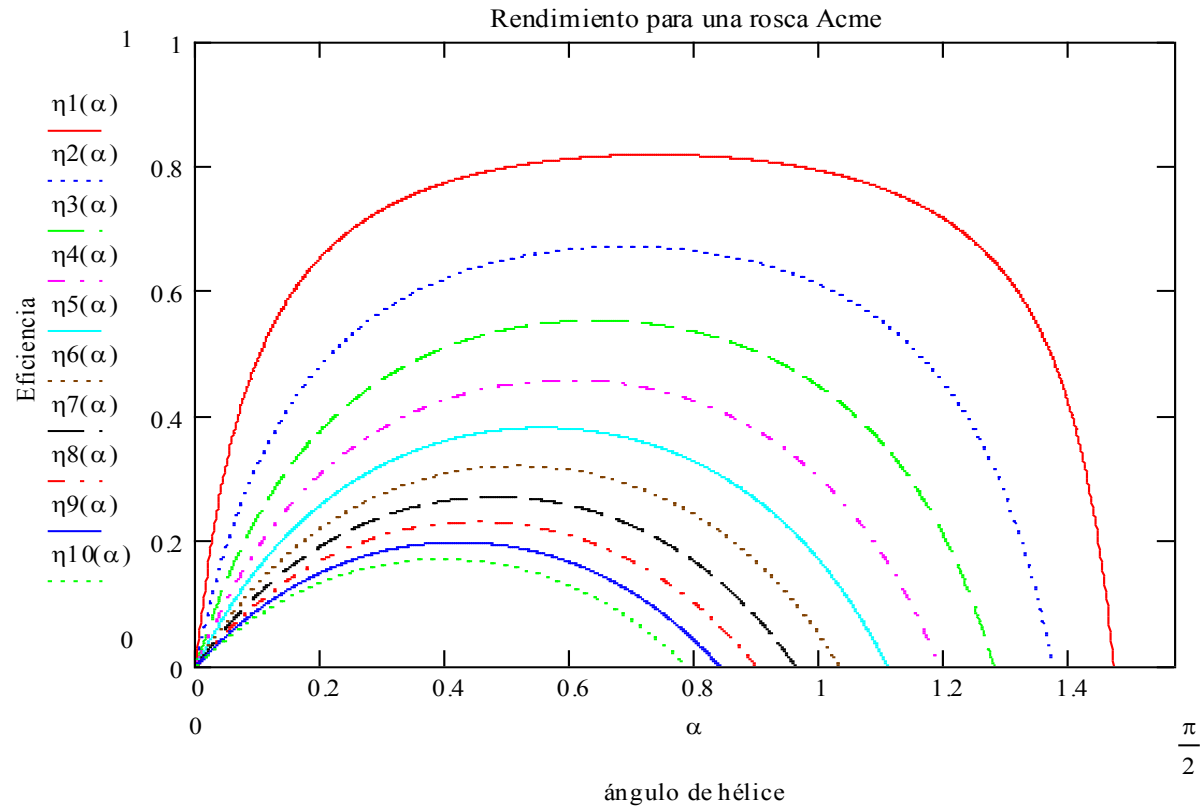
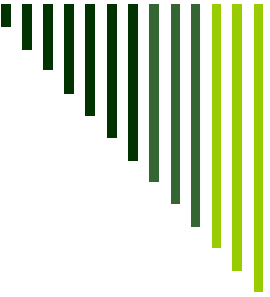


Figura 9 Curvas de eficiencia para diferentes valores de μ_1 en función del ángulo α .



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ESTADO DE ESFUERZOS

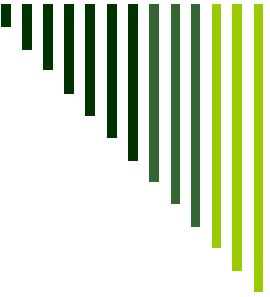
Algunas de las ecuaciones obtenidas y analizadas para los elementos de unión roscados, obviamente siguen siendo validas para los tornillos de potencia, donde adaptadas a la nomenclatura utilizada en este capitulo se obtiene:

Esfuerzo cortante en la rosca del tornillo: τ_{toyx}

$$\tau_{\text{toyx}} = \frac{2W}{\pi d_r H}$$

Donde,

H: altura de la tuerca



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

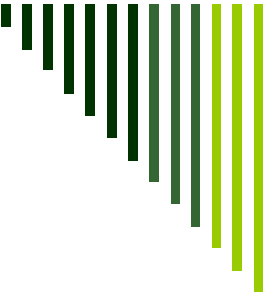
ESTADO DE ESFUERZOS

Esfuerzo cortante en la rosca de la tuerca o elemento que hace las veces de ella: τ_{tuyx}

$$\tau_{tuyx} = \frac{2W}{\pi d H} \quad (\text{Ec 2.22})$$

Esfuerzo de aplastamiento entre las roscas : σ_{aplax}

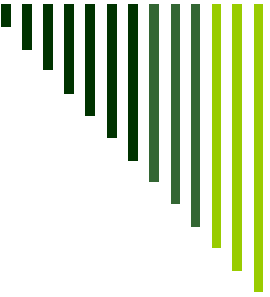
$$\sigma_{aplax} = \frac{4Wp}{\pi(d^2 - d_r^2)H} \quad (\text{Ec 2.23})$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ESTADO DE ESFUERZOS

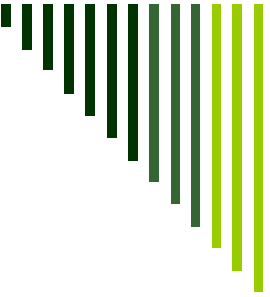
Adicionalmente, en los sistemas de tornillos de potencia deben considerarse además de los efectos definidos anteriormente, En el caso de cargas de compresión, generalmente hay que realizar el estudio del comportamiento del tornillo como columna y verificar, en caso de que se amerite, el efecto correspondiente; así además verificar efectos adicionales de flexión cuando exista carga excéntrica.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

Los procedimientos de análisis y síntesis para los tornillos de potencia son tan variados como variadas son sus aplicaciones, no existiendo por ello procedimientos secuenciales únicos a seguir; y ellos dependerán de la aplicación específica donde se requiera el utilizarlos.



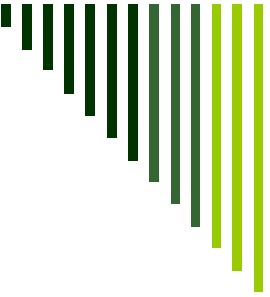
ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

COMPRESION EN COLUMNAS

Para el caso de columnas a compresión, las ecuaciones de carga axial no pudiera ser suficientes para determinar cual carga a aplicar es segura para este miembro. Dado que este puede fallar por pandeo mas que por compresión.

Es por esto que se por esto que se debe verificar el pandeo en la columna y se establecen una serie de parámetros para determinar las condiciones de esta.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

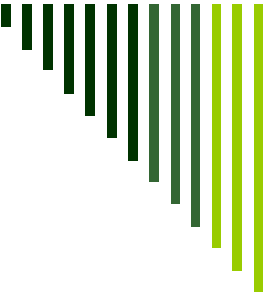
Razón de esbeltez, S_r : Es un factor usado para caracterizar las columnas, si esta es una columna corta o larga. Una columna corta fallará por carga axial y la máxima carga axial que podrá soportar estará dada por su esfuerzo de fluencia. En cambio en el caso de columnas largas estas fallarán primero por pandeo por pandeo que por fluencia, la relación de esbeltez se define como:

$$S_r = \frac{l}{k}$$

Donde:

l : longitud de la columna

k : radio de giro



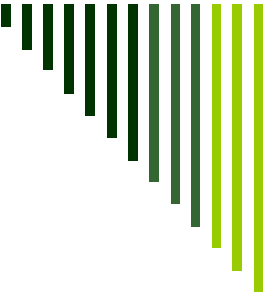
ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

El radio de giro se determina por:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde I es el momento de inercia (es decir, el segundo momento) de la sección transversal mas pequeña de la columna, y A es su área en la misma sección transversal

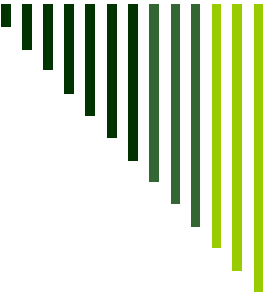


ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

Columnas cortas: Por lo general, una columna cortas se define como aquella cuya razón de esbeltez es ligeramente menor a 89 ($Sr < 89$). en este caso se aplicara el limite elástico del material a compresión como factor limite, a fin de compararlo con el esfuerzo calculado a través de la expresión:

$$\sigma_x = \frac{P}{A}$$

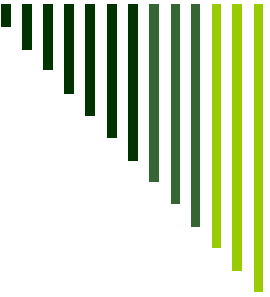


ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

Columna larga: Una columna larga requiere el calculo de su carga critica. Esta puede ser expresada mediante la formula de columna desarrollada por Euler. Donde la carga critica (P_{crit}) es función únicamente de la área de la sección transversal de la columna A , su radio de giro y el modulo de elasticidad E del material. Se determina a través de:

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 EA}{\left(\frac{1}{k}\right)^2}$$



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ANÁLISIS Y SÍNTESIS

Condiciones terminales: Estas condiciones gobiernan el comportamiento de las columnas haciendo que sea mas elevada o no la carga critica que puede soportar la columna. Es por esto que se tiene la necesidad de establecer un parámetro para determinar la verdadera carga critica del sistema.

Por esto se hace necesario establecer la longitud efectiva (le) apropiada para obtener la razón de esbeltez correcta a utilizar en cualquiera de las formulas en carga critica:

$$Sr = \frac{le}{k}$$

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ESTADO DE ESFUERZOS

Condiciones terminales	Valor teórico	Recomendado por AISC
Articulada articulada	$l_e : l$	$l_e : l$
Articulada fija	$l_e : 0.707l$	$l_e : 0.80l$
Fija Fija	$l_e : 0.5l$	$l_e : 0.65l$
Fija libre	$l_e : 2l$	$l_e : 2.1l$

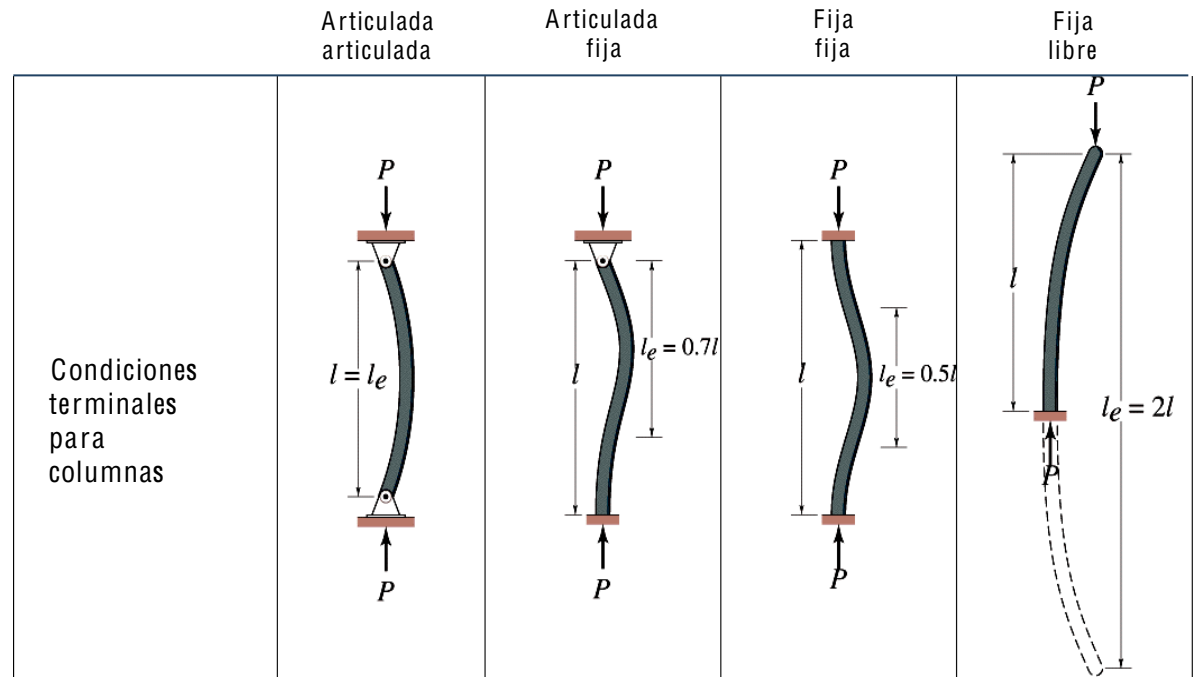
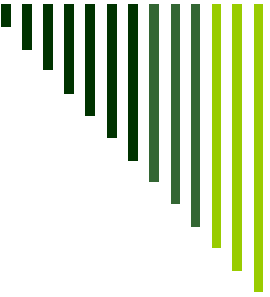


Figura 10 Diversas condiciones terminales y sus respectivas longitudes equivalentes



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

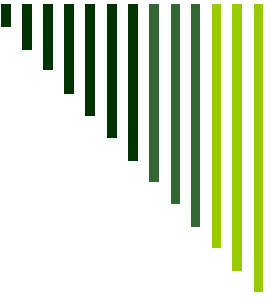
ESTADO DE ESFUERZOS

La formula de Euler tomando en cuenta las respectivas condiciones terminales se expresa de la manera:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E A}{\left(\frac{l_e}{k} \right)^2}$$

Donde:

l_e : longitud equivalente para las condiciones de extremos dada



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ESTADO DE ESFUERZOS

Observando que la carga P que se aplica a la columna en algunos casos no es perfectamente céntrica, y llamando e la excentricidad de la carga, es decir la distancia entre la línea de acción de P y el eje de la columna (véase la figura 11), la carga excéntrica dada se remplaza por una fuerza P y un par M_A de momento $M_A = Pe$. Por tanto habrá que comprobar que el esfuerzo admisible no sea excedido y que la flexión $y_{\max}$ no sea excesiva.

ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ESTADO DE ESFUERZOS

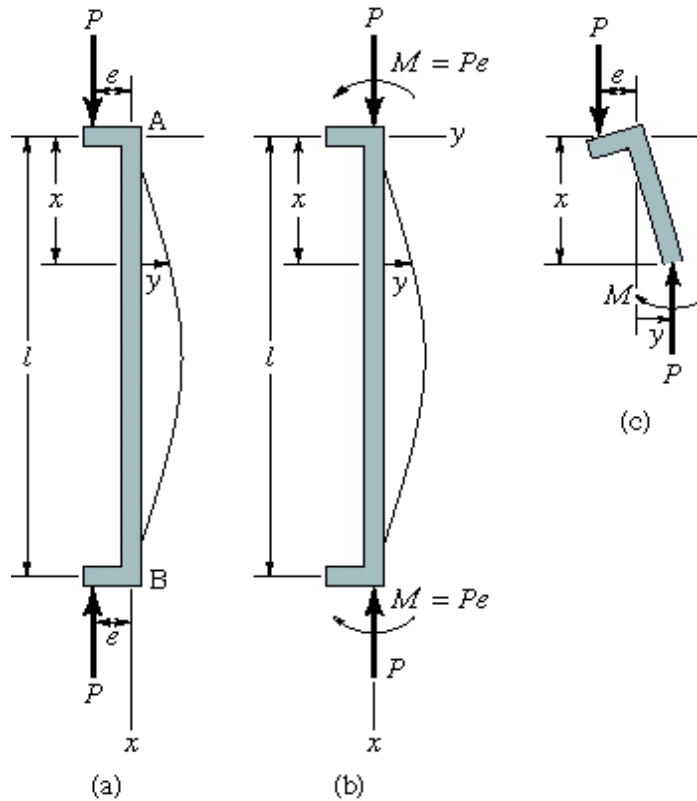
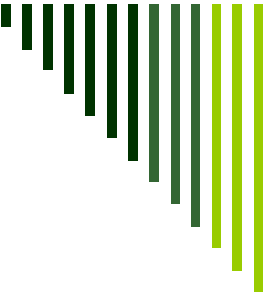


Figure 11 Columna cargada excéntricamente.
(a) Excentricidad;
(b) Cargar equivalente;
(c) Diagrama de cuerpo libre.

Figura 11 efectos de la carga excéntrica.



ELEMENTOS DE MAQUINAS II

ESTADO DE ESFUERZOS

El esfuerzo máximo puede determinarse a través de:

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{4P}{\pi d_r^2} + \frac{32 Pe}{\pi d_r^3}$$
