



Diseño y simulación estructural de una escalera abatible de plataforma

**Adanies Junior Arteta Hernández
Brayner David Fuentes Ricardo**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2020

Diseño y simulación estructural de una escalera abatible de plataforma

**Adanies Junior Arteta Hernández
Brayner David Fuentes Ricardo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ingeniero Jonathan Fábregas Villegas MSc.

Codirector (a):

Ingeniero Javier Carpintero Durando MSc.

Línea de Investigación:

Diseño Mecánico

Grupo de Investigación:

GI FOURIER

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

2020

Dedicatoria

A mi familia en especial a mi madre por su apoyo incondicional en mi superación personal en cada logro obtenido en mi vida, a ella le dedico este gran título académico.

A mi abuela que está en el cielo por haberme inculcado buenos valores y enseñarme que con esfuerzo y dedicación se puede lograr lo que uno se proponga en la vida.

A mi hermano por los consejos dados y su apoyo incondicional en mi carrera como profesional siendo un gran ejemplo de superación.

Adanies Arteta

A mi Dios a él sea la honra y la gloria, a mis padres, a mi esposa, por sus consejos y ayudarme en esta etapa de mi vida tan especial, por la comprensión, atención y siempre el apoyo en momento difíciles.

A mis hermanos por estar pendiente a todo este trance por decirme “si puedes lograrlo”, que confiaban en mí, en poder sacar esta carrera adelante.

Me fueron de gran ayuda su apoyo gracias a Dios, Gracias familia, a ustedes les dedico este triunfo.

Brayner Fuente

Agradecimientos

Primeramente, le doy gracias a Dios por bendecirme con buena salud, a él le estoy agradecido por estar rodeado de personas que me quieren mucho y han aportado de sus ayudas para escalar peldaño a peldaño en esa escalera que se llama vida.

A mis familiares, amigos y compañeros que me apoyaron llenándome de ánimos y apoyo moral cuando en algunos momentos las cosas se tornaban grises.

A la universidad Antonio Nariño por abrirme las puertas y ser parte de esta gran familia, a los profesores por sus empujes, dedicaciones y compromisos hacia los estudiantes.

Adanies Arteta

Agradecer primordialmente a Dios, por darme la oportunidad y las ganas de estudiar esta carrera profesional.

A mis padres, esposa y hermanos por el apoyo incondicional, por alentarme cada vez que la situación tornaba a ser complicada.

A los docentes de la universidad UAN por explicarnos día a día cómo ser un profesional integral pues sus conocimientos me ayudaron mucho.

Brayner Fuentes

RESUMEN

Este es un estudio que aplica la metodología del proceso de diseño mecánico y hace uso de la simulación con un software de diseño como herramienta de apoyo para realizar la evaluación estructural del nuevo diseño innovador “abatible” de una escalera de plataforma tipo avión. Estas escaleras en su diseño tradicional tipo avión no son abatibles y están conformadas como un conjunto de ensamblaje fijo con ruedas para ser transportada, por su gran altura impide que la escalera pueda utilizarse en todo tipo de espacios y requiera un sitio especial de almacenamiento, por lo que se establece la modificación en las características de diseño y funcionalidad para el almacenaje y transporte. Se diseña la escalera y se hace un análisis cinemático y cinético del diseño. También, se hace uso de un software especializado para realizar el análisis de elementos finitos que permite validar las condiciones de deformación y los niveles de esfuerzo que soporta la escalera, todo enmarcado en el cumplimiento de la norma para garantizar, seguridad, resistencia y cumplimiento con todos los aspectos relacionados con el diseño mecánico de la nueva escalera como un elemento estructural abatible, manteniendo las condiciones de resistencia necesaria para un modelo funcional, seguro y confiable que le permite al trabajador alcanzar una altura de 5 metros y que también se puede transportar de manera segura una vez se encuentre en posición horizontal.

Palabras clave: Diseño mecánico, simulación estructural, mecanismos, escalera de plataforma.

ABSTRACT

This is a study that applies the methodology of the mechanical design process and makes use of simulation with design software as a support tool to carry out the structural evaluation of the new innovative "folding" design of an airplane-type platform ladder. These stairs in their traditional airplane-type design are not folding and are shaped as a set of fixed assembly with wheels to be transported, due to their high height it prevents the ladder from being used in all kinds of spaces and requiring a special storage site, for which establishes the modification in the design and functionality characteristics for storage and transport. The ladder is designed and a kinematic and kinetic analysis of the design is made. Also, specialized software is used to perform finite element analysis that allows validating the deformation conditions and the stress levels that the ladder supports, all framed in compliance with the standard to guarantee, safety, resistance and compliance with all aspects related to the mechanical design of the new ladder as a folding structural element, maintaining the necessary resistance conditions for a functional, safe and reliable model that allows the worker to reach a height of 5 meters and that can also be transported from safely once it is in a horizontal position.

Keywords: Mechanical design, structural simulation, mechanisms, platform ladder

CONTENIDO

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABLAS.....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	XVI
Símbolos con letras Latinas	XVI
Símbolos con letras griegas	XVII
Abreviaturas	XVII
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2 JUSTIFICACIÓN	5
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4 DELIMITACIÓN	7
2. MARCO DE REFERENCIA.....	8
2.2. MARCO TEORICO.....	9
2.3. MARCO CONCEPTUAL	10
2.3.1. Definición de escalera	10
2.3.2. Tipos de escaleras.	10

2.3.3. Términos fundamentales que hacen parte de una escalera.....	14
2.3.4. Normas de seguridad de las escaleras	16
2.3.5. Característica de diseño de las escaleras	18
2.3.6. Condiciones de seguridad	21
2.3.7. Soldadura	22
2.3.8. Resistencia de las uniones soldadas.	23
2.3.9. Fenómeno de la fatiga.....	24
2.3.10. Límite de resistencia a la fatiga	25
2.3.11. Análisis de elementos finitos.	26
2.4. MARCO LEGAL	28
3. DISEÑO METODOLOGICO.....	30
3.1. Tipo de investigación.....	30
3.2. Plan de trabajo	30
4. PROCESO DE DISEÑO MECÁNICO DE ESCALERA ETA ABATIBLE.	32
4.1. Requerimientos de la escalera ETA abatible.....	32
4.2. Generación de la propuesta de diseño de la escalera.....	34
4.3. Desarrollo del modelo CAD 3D del producto.....	38
4.4. Análisis del mecanismo abatible de la escalera	42
4.4.1. Cálculos de fuerzas para mover el mecanismo de la escalera.....	45
4.5. Análisis computacional de esfuerzos y deformaciones en componentes.	48
4.5.1. Análisis de la soldadura en las patas de soporte	49
.....	51
4.5.2. Análisis de los peldaños de la escalera.....	55
4.5.3. Análisis de la resistencia de la lámina de la plataforma donde se ubica el trabajador.	59
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. CONCLUSIONES	67
5.2. Recomendaciones	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las escaleras. Fuente: (Sura, 2003).....	11
Figura 2. Tipos de escaleras fijas: rectas, curvas y mixtas. Fuente: (Sevilla et al., 2000)	12
Figura 3. Tipos de escaleras portátiles: a) de escalón, b) sencilla, c) de extensión, d) de tijeras y e) de doble frente. Fuente: (Salud & EI, n.d.).....	13
Figura 4. Tipos de escaleras portátiles: a) de plataforma, b) trípode, c) de caballete, d) de huerto y e) articulada. Fuente: (Salud & EI, n.d.)	13
Figura 5. Relación de Huella y contrahuella en una escalera. Fuente: (Sevilla et al., 2000)	15
Figura 6. Partes principales de una escalera portátil de plataforma (ETA). Fuente: (Escaleras de Colombia, 2020).	15
Figura 7. Normas nacionales ICONTEC relacionadas con el tema de escaleras. Fuente: (Sura, 2003)	16
Figura 8. Leyes colombianas que relacionan el uso de escaleras y sus condiciones. Fuente: (Sura, 2003).....	17
Figura 9. Principales normas internacionales en materia de seguridad para el uso de escaleras. Fuente: (Sura, 2003)	17
Figura 10. Relación de la huella (H) y contrahuella (C) dependiendo de la inclinación de la escalera. Fuente: (Sevilla et al., 2000).....	20
Figura 11. Pendientes de escaleras de acuerdo a su aplicación. Fuente: (Sevilla et al., 2000)	21
Figura 12. Diagrama S – N para aceros.....	25
Figura 13. Modelo de una pieza usando software de elementos finitos donde se aprecia el mallado. Fuente: (Bathe, 2016).....	28
Figura 14. Pasos de la Metodología de la investigación.....	31
Figura 15. . Escalera tipo avión fija de 5 metros de altura, a) ETA no abatible, b) Modelo 3D de ETA. Fuente: Producto comercializado por Escaleras de Colombia	34
Figura 18. Escalera	35
Figura 19. Esquema del concepto de la escalera ETA abatible.	36
Figura 20. DCL de escalera durante operación	37
Figura 21. Modelo 3D del diseño de escalera tipo avión abatible de 5 metros de altura. a) Modelo 3D de escalera tipo avión abatible en posición de operación, b) Modelo 3D de la escalera tipo avión abatible en la posición de contracción	38
Figura 22. Modelo 3D de las partes de la escalera.....	39
Figura 23. Dibujo del modelo 3D de despiece de la escalera.....	40
Figura 24. Mecanismo del diseño de la escalera abatible en posición de reposo o cierre	42

Figura 25. Secuencia de movimientos del mecanismo corredera manivela de la escalera abatible, a) Mecanismo corredera manivela en movimiento para llegar a posición de operación partiendo del reposo, b) Mecanismo corredera manivela en posición de operación.....	43
Figura 26. Movimiento de la corredera C, sobre los tubos guías para llegar a posición de operación.....	44
Figura 27. Posición de operación de la guía corredera C cuando llega al tope y se asegura con el pasador mecánico.....	45
Figura 28. Calculo de la fuerza F para determinar cantidad de personas en esa posición	47
Figura 29. Cargas longitudinales y transversales que generan momento cortante en uniones soldadas de filete en la base del tubo con la lámina	49
Figura 30. Detalle del plano de corte en la soldadura por filete para el análisis de ecuaciones	49
Figura 31. . Punto de análisis del cordón de soldadura que une la tubería con la lámina donde se coloca la rueda. a) Modelo 3D de escalera tipo avión abatible en posición de operación, b) Esquema de punto para realizar el análisis de soldadura.	51
Figura 32. Vista superior de los cordones de soldadura.....	51
Figura 33. Distribución de los esfuerzos realizados sobre el cordón de soldadura de la lámina que soporta la rueda con el tubo recto de soporte	55
Figura 34. Mallado del modelo 3D para la simulación de resistencia de un peldaño	56
Figura 35. Nivel de esfuerzos generados en un peldaño de la escalera por una carga distribuida de 300 kg	58
Figura 36. Desplazamiento en milímetros que el peldaño experimenta por la carga distribuida de 300 kg	58
Figura 37. Distribución mínima del factor de seguridad de 2,6 en el peldaño de la escalera por una carga distribuida de 300 kg	58
Figura 38. Niveles de esfuerzo generados en la lámina de la plataforma de la escalera como resultado de la aplicación de una carga distribuida de 300 kg	61
Figura 39. Desplazamientos generados en la lámina de la plataforma de la escalera a causa de la aplicación de una carga distribuida de 300 kg	61
Figura 40. Distribución del Factor seguridad mínimo 1,12 en la lámina de la plataforma de la escalera a causa de la aplicación de una carga distribuida de 300 kg	61
Figura 41. Nivel de esfuerzo presentado en la escalera debido a carga aplicada de 300 kg en la plataforma	64
Figura 42. Factor de seguridad de la escalera debido a carga aplicada de 300 kg sobre la plataforma.....	64

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Esfuerzos permisibles para metal de aporte. Fuente: (Douglas & Monel, 2008).....	24
Tabla 2. Elementos que conforman el diseño mecánico de la escalera diseñada con relación al modelo 3D presentado	32
Tabla 3. Datos numéricos del análisis del cordón de soldadura para una fuerza horizontal de corte paralelo al plano de la lámina que soporta la rueda	41
Tabla 4. Cálculo del valor del factor de seguridad en función del h para el análisis de esfuerzo por cortante en la soldadura	53
Tabla 5. Condiciones de cargas y sujeciones aplicados al modelo 3D del escalón	53
Tabla 6. Condiciones de cargas y sujeciones aplicados al modelo 3D de plataforma	56
Tabla 7. Condiciones de cargas y sujeciones aplicadas al modelo 3D de la escalera.....	59
Tabla 8. Condiciones de cargas y sujeciones aplicadas al modelo 3D de la escalera.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Los símbolos utilizados en el presente proyecto están relacionados con el tema del diseño principalmente los relacionados con los conceptos de esfuerzos y deformaciones que se realizan en el análisis de la altura de los filetes de las uniones soldadas de la estructura.

Símbolos con letras Latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
A	Área	m^2
D	Diametro	mm
F	Fuerza	N
H	Altura del filete de soldadura	mm
I	Segundo momento polar de inercia transversal de la carga a granel	mm^4
M	Momento producido por una fuerza	$N \bullet mm$
r	Radio	mm
V	Velocidad	m/s
$V_{A/B}$	Velocidad relativa	m/s
A	Aceleración	m/s^2
$a_{A/B}$	Aceleración relativa	m/s^2
N	normal	
T	tangencial	

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
τ	Esfuerzo cortante	$\frac{N}{mm^2}$
S_y	Esfuerzo de fluencia del material	$\frac{N}{mm^2}$
H	Factor de seguridad	adimensional
ω	Velocidad angular	Rad/s
α	Aceleración angular	Rad/s ²
α	Angulo	Grados °
γ	Angulo	Grados °
ϕ	Angulo	Grados °
β	Angulo	Grados °

Abreviaturas

Abreviatura Término

ETA	Escalera Tipo Avión
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
ASTM	American Society of Testing Materials, (Asociación Americana de Ensayo de Materiales)
AWS	American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

INTRODUCCIÓN

Los elementos estructurales de soporte en trabajo de altura como las escaleras, son ampliamente utilizados en actividades cotidianas y en específico en zonas de trabajo industrial, por lo que existen distintas clasificaciones para estos elementos según su uso, es así que la escalera tipo avión (de ahora en adelante denominado ETA) de plataforma se implementa para dar mayor seguridad a la persona que la utilice por contar con una plataforma segura donde se posiciona, por lo cual es de amplio uso industrial en labores de bodega o actividades de mantenimiento que requieren realizarse a determinadas alturas, pero este tipo de escaleras por su grado de seguridad y robustez solo permite su traslado por medio de ruedas en su base, haciendo que su uso se limite a lugares abiertos donde sus dimensiones permitan el transporte de esta, es allí donde nace la necesidad del estudio de hacer que este elemento estructural sea modificado y rediseñado para ser abatible para una condición de dimensión limitante de altura específica y así sea posible su traslado e ingreso a diferentes secciones locativas donde exista una restricción de altura en el acceso y allí adentro sean necesarias labores de trabajo en altura.

La vinculación del diseño estructural por simulación permite de manera práctica utilizar las teorías del campo de resistencia de materiales, así como se muestra en trabajos (Ocampo Battle et al., 2016) donde se desarrolló el estudio del comportamiento de un dispositivo mecánico sometido a fuerzas realizado de manera experimental y por simulación, comparando los efectos de deformación en los componentes del diseño y se obtuvieron resultados precisos del diseño experimental y del modelo simulado. Para el campo específico de seguridad y diseño de escaleras (Kim & Steinfeld, 2016), realizó un estudio destacando la importancia en la seguridad del diseño de una escalera, puesto que estos elementos son uno de los principales implicados en la tasa de accidentalidad en hogares e industria, por esta razón en el estudio de (Budianto et al., 2018) donde analizó el comportamiento estructural de escaleras metálicas utilizando

herramientas de simulación para identificar la capacidad de carga soportada por estos elementos. Es por ello que en el presente estudio se aplica la metodología del proceso de diseño y se “diseña una ETA abatible” y se hace uso de un software especializado generando una simulación del comportamiento estructural de la escalera y sus principales miembros sometidos a condiciones de fuerza para garantizar la resistencia mecánica del nuevo diseño de escalera.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Una escalera portátil es un equipo utilizado para acceder a una altura mayor con relación al piso y si durante su utilización se supera la distancia de 1,5 metros en altura, entonces se está realizando trabajo en altura de acuerdo a la resolución colombiana 1409 del año 2012. En la industria se utilizan diversas formas de escaleras para desempeñar tareas de mantenimiento, operativas o rutinarias. Para cada una de estas aplicaciones existen diversos tipos de escaleras como son: sencillas, extensibles, de tijera, de plataforma (ETA), telescópicas, multiusos, entre otras y su finalidad principal es poder brindar el acceso a una zona que se encuentra a una mayor altura del nivel del suelo, pero cada uno de los diseños de estas escaleras tienen sus ventajas y sus limitaciones.

Algunas empresas en sus actividades utilizan las escaleras extensibles o de tijeras para realizar trabajo en altura pero éstas no siempre son las mejores para estas situaciones, de hecho se recomienda para estos casos utilizar escaleras que cuenten con plataforma ETA, porque la limitante o desventaja que tienen las escaleras “de tijeras y extensibles” frente a las escaleras con plataforma ETA es que la persona que sube en la escalera de extensión por ejemplo a unos 3 metros de altura, siempre tiene que estar apoyado en tres puntos de contacto con la escalera, es decir debe tener siempre los dos pies en los peldaños y una mano debe estar sujeta a la escalera, limitando la libertad de maniobra y por eso deben utilizar un elemento de seguridad complementario que es una “cinturón de posicionamiento”, esto implica que deben existir puntos de anclaje adecuados previamente instalados en el sitio de trabajo para hacer esta conexión, por lo tanto la ventaja que ofrecen las escaleras con plataforma ETA es que permiten brindarle una mayor libertad de maniobra en las manos para que así el trabajador pueda

desarrollar su actividad de manera segura y tranquila, porque este se encuentra en una plataforma de trabajo protegido con pasamanos y guardapiés que son una barrera física que evita la caída, y no requiere puntos de anclaje, el inconveniente es que estas escaleras ETA son estructuras en conjunto fijas y no se pueden configurar, mientras que las otras si permiten hacer una configuración ya sea para el transporte o para la operación.

Por otro lado, en el mercado comercial se encuentran equipos como man-lift, los cuales pueden suplir la necesidad de utilizar una escalera de plataforma, porque estos equipos cuentan también con una plataforma que posee guardas de protección contra caídas y una persona se puede posicionar para hacer su trabajo de manera segura en altura usando sus dos manos de manera libre, la gran desventaja de estos equipos frente a la escalera es el costo del equipo, que prácticamente son automáticos y cuentan con sistemas internos de control que facilitan su uso, pero esto de igual manera hace que se incremente el costo del producto.

La necesidad latente de mejora para las escaleras ETA tradicionales, es lograr que estas puedan utilizarse en la forma conocida que es segura, pero además pueda facilitarse el transporte y almacenaje en lugares de acceso restringido, características que ellas no poseen. Muchas naves industriales poseen puertas cuya altura promedio es de 2.3 metros y anchos de 2 metros. En estos casos no es posible ingresar al interior una escalera ETA tradicional de 5 metros de altura. Para el caso a resolver, se requiere una escalera tipo ETA de 5 metros de altura que pueda almacenarse en un espacio de 2 metros de ancho por 1.5 metros de alto y largo que no exceda los 5 metros.

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Qué modificaciones de diseño pueden implementarse a una escalera ETA tradicional para facilitar que esta pueda ser almacenada y transportada en sitios de

acceso restringido, teniendo un costo final menor que equipos man – lift equivalentes en altura de servicio de 5 metros?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Todas las empresas colombianas sin importar su naturaleza o tamaño, deben implementar un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo el cual es de carácter obligatorio según el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo 1072 del año 2015 implementado por el gobierno, razón por la cual todos los empleadores deben velar por el bienestar y la salud de sus trabajadores. En su proyecto de grado de especialistas en salud ocupacional (Pachón & Vargas, 2016) presentan en su investigación el nivel de la accidentalidad en Colombia por trabajo en altura y se apoyan con cifras del Instituto de Medicina legal durante los años 2.004 al 2.013 mostrando que los niveles de mortalidad por trabajos en alturas fue de mil ciento ochenta y tres (1.183) muertes con un promedio anual de ciento dieciocho (118) decesos, información entregada por las aseguradoras de riesgo del país, es una de las razones por el cual el gobierno colombiano tomó medidas e implementó de carácter obligatorio implementar el Sistema de Gestión y Seguridad y Salud en el Trabajo –SG SST, porque por derecho constitucional la “vida no tiene precio”.

El trabajo en altura es una situación de peligro para los operarios que realizan labores en estas condiciones. Por lo tanto, sistemas de acceso y soporte como andamios, escaleras, man –lift y otros, deben garantizar la seguridad a las personas. Esto requiere diseñar, construir y utilizar estos equipos bajo normas aplicables de tal manera que la seguridad física sea garantizada. En este orden de ideas, los equipos con plataforma para soporte y protección lateral de los trabajadores, brindan las condiciones ideales de seguridad corporal y capacidad de realizar fuerza según los trabajos requieran.

La escalera es un mecanismo utilizado para realizar trabajo en altura, por lo tanto, es una fuente potencial que contribuye a la probabilidad de accidentalidad laboral, razón por la cual, cualquier diseño de escalera debe cumplir con unas condiciones de resistencia estructural de acuerdo a las cargas de trabajo por soportar y también requiere de unas condiciones especiales de diseño en su dimensionamiento de la ergonomía para la persona que hará uso de ellas, por lo tanto deben estar diseñadas y cumplir con algunos apartes de norma ANSI A14 (United & Of, 1997) y los numeral 29 de la norma OSHA 1910 (OSH Standards, 1974), para garantizar la seguridad y la vida de las personas que utilicen la escalera de manera adecuada.

Desarrollar una escalera con plataforma para el operario, que además sea fácil de almacenar y transportar lleva a obtener beneficios como: seguridad, bajo costo, facilidad de uso, bajo peso relativo. Características deseables en un producto para este tipo de aplicaciones.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una escalera tipo avión abatible de plataforma para uso industrial en altura de 5 metros que pueda transportarse en forma recogida para poder pasar por alturas inferiores a ella.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Desarrollar un mecanismo a nivel estructural que permita convertir la configuración de una ETA tradicional en abatible para las posiciones de almacenaje y operación.
- b. Generar el modelo 3D de la escalera cumpliendo con las normas de seguridad usando materiales adecuados para su fabricación.
- c. Validar mediante mecánica computacional la resistencia mecánica y su comportamiento ante las cargas de trabajo de la ETA abatible diseñada.

1.4 DELIMITACIÓN

En este proyecto se plantean dos limitantes fundamentales, la primera está relacionada con aspectos de costos a la solución generada, como es el caso que el valor monetario de la fabricación de la escalera no debe superar el costo de una escalera ETA tradicional o fija de 4 metros cuyo valor comercial no supera los \$10,000,000 de pesos colombianos y la segunda limitación es que en este proyecto se realiza una proyección del costo de fabricación del diseño final, pero no queda en manos de los investigadores del presente proyecto la responsabilidad de construir la escalera, se llega hasta la concepción de un modelo 3D de la escalera, cuyo diseño está validado en cuanto a su resistencia mecánica con la ayuda del software de diseño, por último se realizan los planos de fabricación con los cuales se obtienen los costos de fabricación estimados y estos son comparados con la condición de presupuesto límite del proyecto para cumplir ese requisito.

2. MARCO DE REFERENCIA.

2.1. ANTECEDENTES.

Las escaleras de plataforma ETA se utilizan en la industria aeroportuaria, principalmente para actividades de operación y mantenimiento a las aeronaves. Estas escaleras de uso en el país son importadas y su costo es alto, por la cual Monica Ariza (Ariza, 2008) de la Universidad de San Buenaventura en su proyecto de grado tuvo como objetivo rediseñar las plataformas diseñadas por la compañía americana Capital Safety, a modo de satisfacer las mismas necesidades pero a un menor costo, lo cual implica una re-evaluación de los materiales utilizados por esa compañía, teniendo en cuenta que los valores tales como esfuerzos, capacidades de carga y funcionalidad no se verán afectados. Ella desarrolla un modelo de escalera tipo plataforma que se regula en altura, al cual realiza un análisis de elementos estructurales con el software Algor obteniendo resultados validos con los ajustes de la selección de material, una vez con el modelo final realiza un análisis de costos de fabricación obteniendo un valor cercano a los \$6.300.000 pero solo de materiales, sin incluir mano de obra para la fabricación, por lo cual este proyecto es una referencia de gran ayuda para la investigación y sirve como soporte guía, aunque las condiciones finales del proyecto varían en términos de funcionalidad.

En una investigación internacional Francesc González Rodríguez (Industrial, 2016) de la Universidad Politécnica de Cataluña desarrolló su proyecto de grado denominado “Diseño de una estructura universal para el montaje de plataformas modulares en el ensamblaje de aeronaves”, cuyo objetivo fue generar la estructura como un módulo el cual debe abarcar el mayor tipo de configuraciones de montaje

para formar plataformas que se sitúen alrededor de cualquier parte de la aeronave y sobre las cuales se puede realizar el mayor número de operaciones posibles, en la cual González utiliza el software CATIA V5 para el diseño de prototipo y los módulos de diseño mecánico y análisis estructural, para implementar la geometría en 3D y finaliza con un análisis estructural de fatiga mediante método de elementos finitos (en inglés Finite Element Method - FEM) que le ha permitido validar el diseño en base a la normativa y solicitaciones estructurales y concluye que los análisis estructurales realizados no son suficientemente certeros pero sí se desarrollaron bajo un método experimental para concretar el comportamiento estructural, con lo cual se consigue una definición total del prototipo realizado, siendo esta otra investigación una referencia para la metodología del proceso de diseño y el desarrollo del resultado obtenido, principalmente en el análisis de resistencia mecánica de cada uno de los elementos del prototipo diseñado.

2.2. MARCO TEORICO.

Para el presente estudio es necesario interpretar y conocer la funcionalidad de una escalera de plataforma ETA fijas estructuralmente, la ventaja principal de este tipo de escaleras es que por contar con una plataforma, brindan una mayor seguridad a la persona que la utiliza, también es necesario reconocer e identificar el tipo de trabajo que va a realizar la plataforma, además de la frecuencia con la que se piensa usar con el fin de establecer normas mínimas de seguridad a una serie de características técnicas. Se deben realizar algunas preguntas como, ¿Quién va a usar la escalera de plataforma?, ¿Con que elementos va a acceder a la plataforma el operario? y ¿Con que frecuencia la utilizará?, también es importante diferenciar el lugar de trabajo desde instalaciones industriales, fábricas, hasta bodegas y espacios abiertos.

Al realizar una revisión de los catálogos de dos grandes empresas fabricantes de escaleras de plataforma ETA a nivel nacional se encuentra ESCALERAS DE COLOMBIA con sede en Cartagena y es especialista en la fabricación de escaleras industriales, a nivel internacional se encuentran las empresa alemana ZARGES GMBH y cuenta en su brochure principal una gran variedad de equipos utilizados en la industria aeroespacial, incluyendo las escaleras de plataforma ETA, al revisar estos diseños de este segmento de escaleras se encuentra una desventaja, todas estas escaleras están diseñadas para trabajar en espacios abiertos, cuando se requiere ingresar la escalera a un espacio limitado por la altura, la escalera puede no ser funcional para su uso en el traslado, está es principalmente la hipótesis de trabajo, la cual consiste en diseñar una escalera de plataforma ETA para alcanzar una altura de 5 metros, la cual pueda ingresar por una puerta de acceso de 2 metros de altura.

2.3. MARCO CONCEPTUAL.

2.3.1. Definición de escalera.

Las escaleras son elementos constructivos que proporcionan acceso entre dos planos (plantas) situadas a distinto nivel, constituida por peldaños o escalones (Sevilla et al., 2000). Según la real academia española una escalera es una serie de escalones que sirven para subir a los pisos de un edificio o a un plano más elevado, o para bajar de ellos. En ambos conceptos comparten que se puede avanzar de un nivel a otro a través del elemento.

2.3.2. Tipos de escaleras.

Las cuales se pueden clasificar en escaleras fijas y escaleras portátiles. Las escaleras fijas son aquellas que están de manera permanente en un lugar fijo donde permiten el acceso a diferentes niveles mientras que las escaleras portátiles

son aquella que se pueden trasladar de un lugar a otro para su operación, esta clasificación es tomada de un documento emitido por la empresa SURA con relación a la prevención y caídas de escaleras, referenciado en la figura 1.

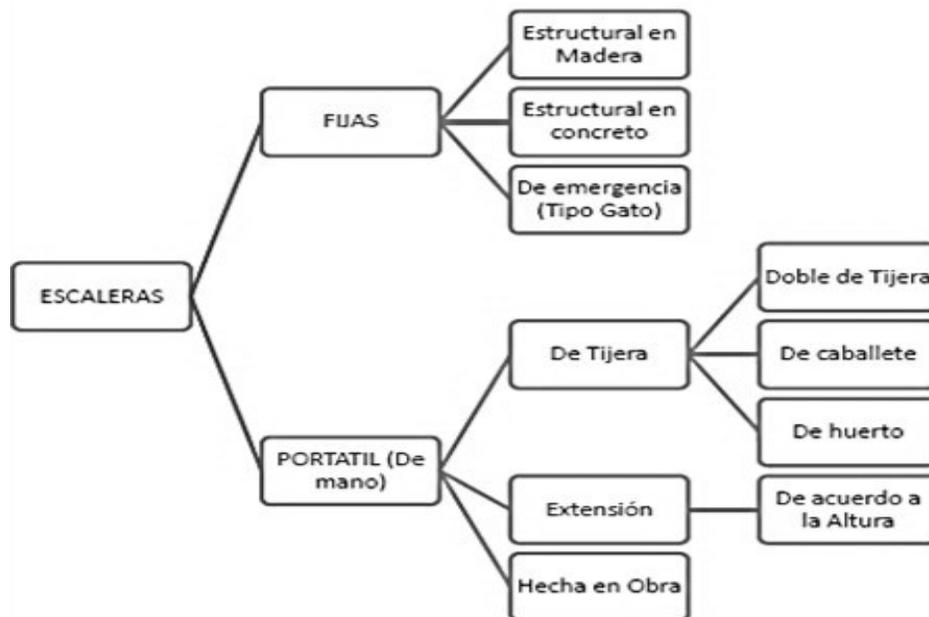


Figura 1. Clasificación de las escaleras. Fuente: (Sura, 2003).

El campo de los diseños de las escaleras es bastante amplio por ser elementos de gran utilización desde las locaciones en las viviendas, edificios y empresas. Los arquitectos han desarrollados escaleras fijas de diferentes formas, todas dependen de la directriz o eje central de la escalera y se pueden hacer: escaleras de tramos rectos, curvos y mixtos.

Las escaleras fijas son las de mayor construcción en la cual todas sus huellas son paralelogramos porque están trazadas basándose en directrices rectas, pero también por condiciones de espacio y diseño se construyen escaleras circulares o elípticas, estas tienen la particularidad que sus huellas no tienen formas de paralelogramo (trapezoidales o triangulares). En algunos casos, se diseñan y construyen escaleras mixtas elaboradas de diferentes materiales las cuales combinan tramos rectos y curvos en su trazado. En la figura 2 se muestra las

configuraciones geométricas de estos tres tipos de escaleras fijas, las cuales por lo general son fabricadas en mampostería.

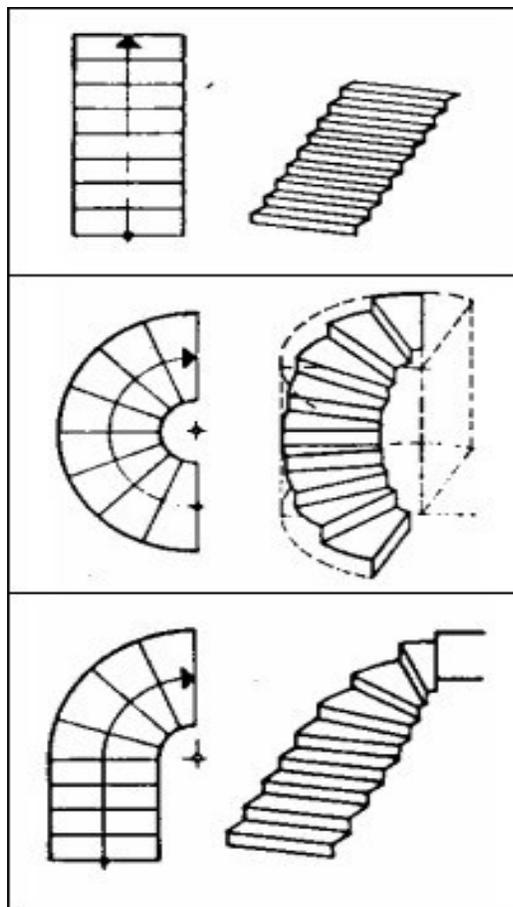


Figura 2. Tipos de escaleras fijas: rectas, curvas y mixtas. Fuente: (Sevilla et al., 2000)

Las escaleras portátiles se clasifican en: de escalón, sencilla, de extensión, de tijeras, de doble frente, de plataforma, trípode, de caballete, de caballete con extensión, de huerto y articulada, como se muestra en la figura 3 y 4, cuya información fue tomada del manual de escaleras OSHAS de Oregón.

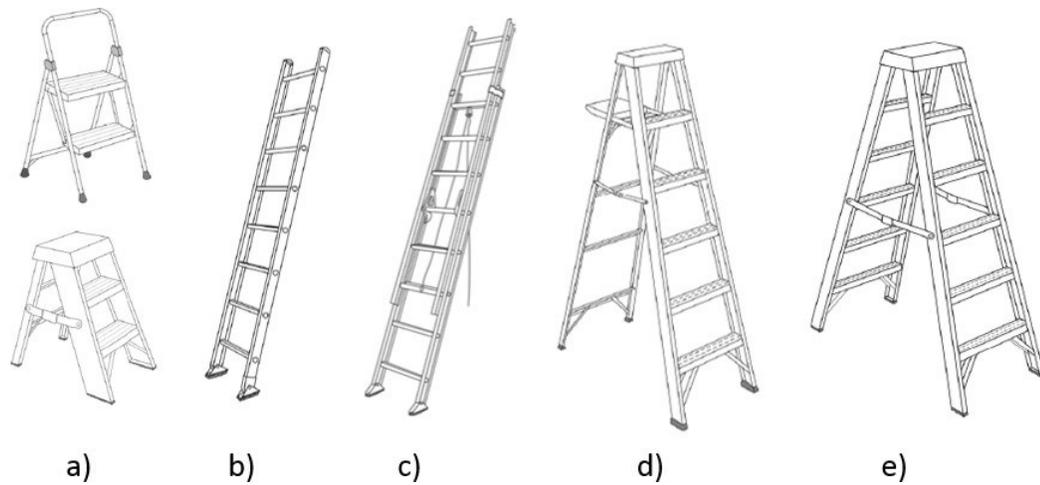


Figura 3. Tipos de escaleras portátiles: a) de escalón, b) sencilla, c) de extensión, d) de tijeras y e) de doble frente. Fuente: (Salud & EI, n.d.).

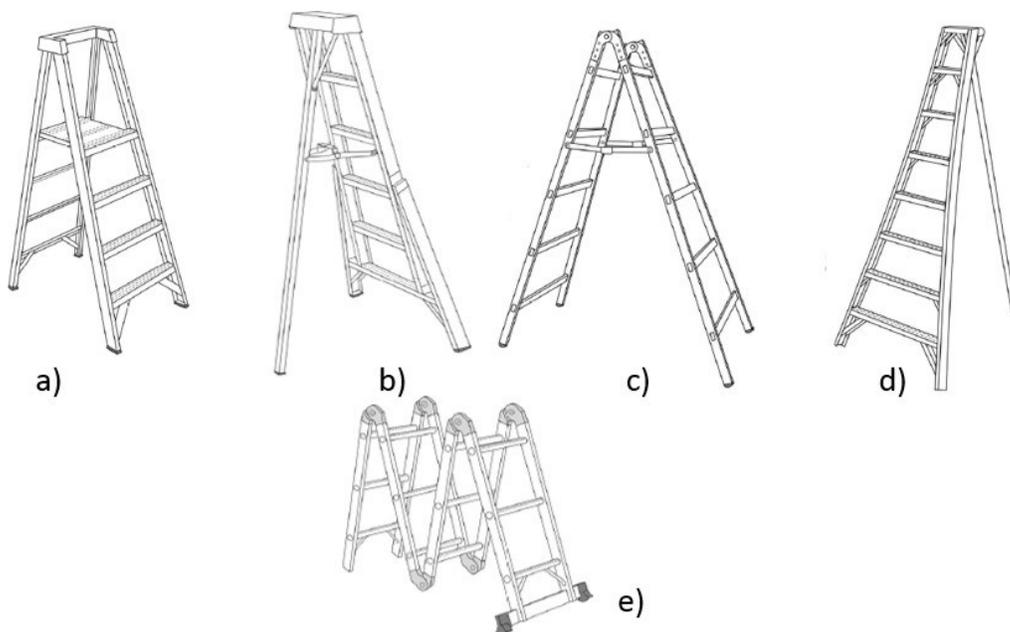


Figura 4. Tipos de escaleras portátiles: a) de plataforma, b) trípode, c) de caballete, d) de huerto y e) articulada. Fuente: (Salud & EI, n.d.).

2.3.3. Términos fundamentales que hacen parte de una escalera

Es importante que se identifiquen las partes principales de una escalera, estas condiciones están tanto para escaleras fijas como para escaleras portátiles, los principales términos son:

Escalón o Peldaño: Es la superficie donde la persona que utiliza la escalera puede apoyar sus pies, esta debe ser plana y horizontal para poder subir y bajar con seguridad.

Huella (H): es la superficie del ancho del escalón donde se coloca el pie.

Ancho de la huella: es el valor dimensional del ancho del escalón usado para apoyar el pie.

Arista (A) o canto: cada peldaño tiene marcado una línea que se produce por los planos de la huella y la contrahuella.

Contrahuella (C): es la altura que existe entre un peldaño y el siguiente peldaño, está medida afecta que tanto tiene que levantar la pierna la persona al subir la escalera.

Para mostrar de mejor manera a que se refiere cada concepto emitido anteriormente, se evidencia de mejor manera una imagen representativa y esquemática como se muestra en la figura 5, donde se incluye la relación entre la huella (H) y la contrahuella (C) de la escalera fija, que de igual manera se utilizan estos conceptos para las escaleras portátiles.

De todos los modelos de escaleras portátiles existente el presente trabajo se basa en el análisis del diseño de escaleras portátiles de plataforma ETA, las cuales como su nombre lo indica poseen una superficie de trabajo denominada plataforma donde el usuario puede posicionarse para realizar la actividad con la escalera. En general estas escaleras se componen de los siguientes componentes como son: ruedas, freno de seguridad, peldaños, pasamanos, plataforma, barandas y guardas pies. En la siguiente figura se muestra una ETA portátil de plataforma tomada como

un producto comercial producido por la empresa denominada “Escaleras de Colombia” que entre sus productos tiene este tipo de escalera.

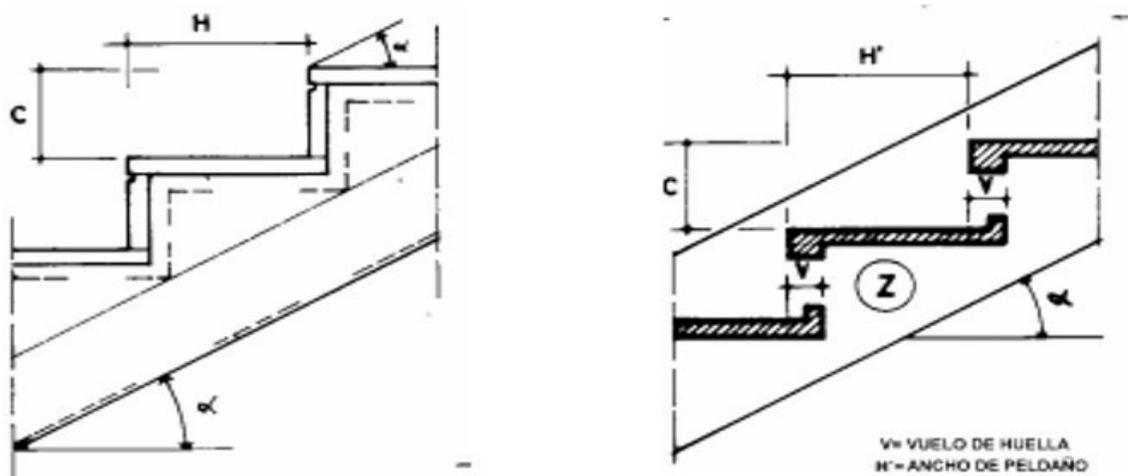


Figura 5. Relación de Huella y contrahuella en una escalera. Fuente: (Sevilla et al., 2000)

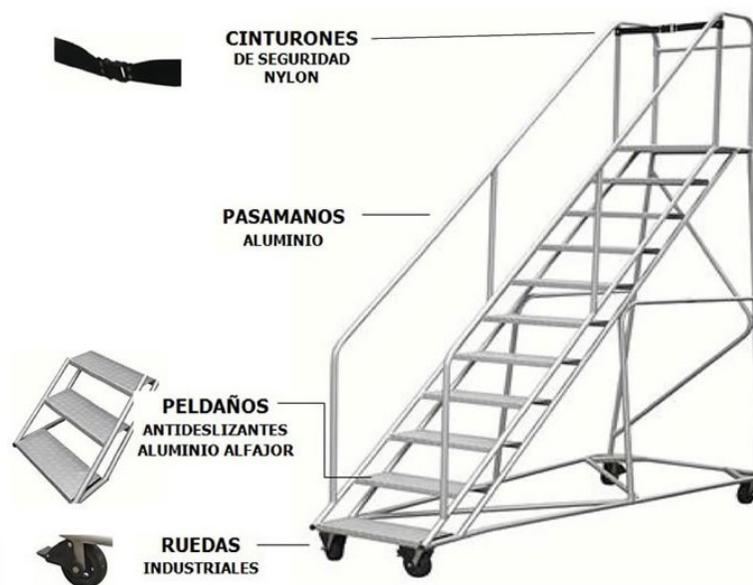


Figura 6. Partes principales de una escalera portátil de plataforma (ETA). Fuente: (Escaleras de Colombia, 2020).

2.3.4. Normas de seguridad de las escaleras

Existen normas que regulan la etapa de diseño, desarrollo y fabricación de escaleras, con relación a las escaleras portátiles ellas poseen un marco o *frame* el cual entrega el soporte para mantener las condiciones geométricas de la escalera y esta no se deforme plásticamente durante su utilización, en otras palabras poder soportar el peso de las personas que la usan brindando seguridad, por lo tanto, el diseño de las escaleras incluyendo las portátiles de plataforma ETA está regulado bajo las siguientes normas nacionales e internacionales.

AUTORIDAD	NORMA	CONTENIDO
Instituto Colombiano de Normas Técnicas	NTC 4145	ACCESIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FISICO. EDIFICIOS. ESCALERAS.
Instituto Colombiano de Normas Técnicas	NTC 1700	Medidas de seguridad en edificaciones. Medios de evacuación.

Figura 7. Normas nacionales ICONTEC relacionas con el tema de escaleras. Fuente: (Sura, 2003)

AUTORIDAD	NORMA	REGLAMENTACION	ARTICULOS	CONTENIDO
Ministerio de la Protección Social	Resolución 2400 de 22 Mayo de 1979	Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.	Capitulo III de los Andamios y escaleras Artículos 634 al 663	Escaleras de mano, normas de seguridad, apoyos, materiales, mantenimiento, prohibiciones y capacidades
Ministerio de la Protección Social	Resolución 2413 de 22 Mayo de 1979	Por la cual se dicta el Reglamento de Higiene y Seguridad para la Industria de la Construcción	Del 42 al 47	Ubicación Escaleras, Distancias, Normas de seguridad, Tamaños, Espacios Travesaños, prohibiciones
Ministerio de la Protección Social	Resolución 3673 de Septiembre 26 de 2008	Por el cual se establece el Reglamento Técnico de Trabajo seguro en alturas	Capitulo V Sistemas de acceso para Trabajos en altura Artículos 15 y 16	Requerimientos Mínimos para los sistemas de acceso Lineamientos para el uso seguro de los sistemas de acceso

Figura 8. Leyes colombianas que relacionan el uso de escaleras y sus condiciones. Fuente: (Sura, 2003).

AUTORIDAD	NORMA	CONTENIDO
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España	NTP:404	Escaleras Fijas
	NTP:239	Escaleras Manuales
	NTP:408	Escalas fijas de Servicio
Occupational Safety & Health Administration OSHA	CFR 1926.1050-1060 (Subparte X).	Escaleras Portátiles, Seguridad Normas Técnicas
American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Estándares)	ANSI A14.1-2000	Escaleras de Madera
	ANSI A14.2-2000	Escaleras de metal
	ANSI A14.5-1982	Escaleras de plástico reforzado
NFPA	101	Escaleras de emergencia para edificaciones.

Figura 9. Principales normas internacionales en materia de seguridad para el uso de escaleras. Fuente: (Sura, 2003).

De las normas mencionadas anteriormente las de mayor relevancia son: la norma ANSI 14.7 y la OSHA 1910-29 (OSH Standards, 1974).

2.3.5. Característica de diseño de las escaleras

El diseño de las escaleras debe cumplir una serie de requisitos los cuales permiten que se desempeñen de manera segura, para que ejerzan su función correctamente, estos parámetros de diseño se utilizan para cumplir las condiciones ergonómicas con que una persona promedio la puedan utilizar sin ningún inconveniente, los siguientes son esos requisitos:

1. De uso ergonómico y cómodo, con lo cual se requieren pendientes no tan inclinadas, que el ancho del peldaño (huella) y contrahuella sean adecuados al usuario, minimizando los esfuerzos en las piernas al momento de subir o bajar.
2. Garantizar al usuario su seguridad y bienestar, por lo cual la forma de su diseño como: pasamanos, barandilla, guardapiés, plataforma y revestimiento de peldaños han de proteger a los usuarios frente a caídas o prevenir cualquier tipo de accidente.
3. Cumplir normas básicas de seguridad relacionadas con los materiales utilizados y las condiciones de carga que soportan, detalles funcionales en cuanto a las condiciones de protección de incendios. Estos sistemas deben estar debidamente identificados y con marcas que faciliten la evacuación de personas en caso de emergencia.

Una característica importante a tener en cuenta un diseñador de escaleras es seleccionar una buena relación de huella y contrahuella, porque la pendiente que se genera es fundamental para la ergonomía de las personas que lo vayan a utilizar y la sensación de confort que experimentan. El usuario debe sentir que cuando asciende por la escalera se sienta cómodo, tomando medidas de ergonomía para una persona hombre promedio cuya talla es 42 y mide 27,5 centímetros, entonces

llevando esto a un valor de 29 centímetros como parámetro para una buena condición de diseño.

Tomando como referencia la información de tablas y guías del diseño de peldaños, donde recomiendan que para que una escalera sea cómoda debe existir una relación de diferencia entre la medida de la huella y la contrahuella de 12 centímetros ($H - C = 12$), por eso se puede llevar a un valor de 17 centímetros para obtener una relación 29/17, donde los 29 centímetros se refieren al ancho de la huella y los 17 centímetros se refiere al alto de la contrahuella.

Todas estas medidas son tomadas de la distancia que recorre una persona cuando está caminando en condiciones normales y las fuerzas internas en los piezas que debe ejercer para poder realizar los movimientos en las piernas, también se tiene en cuenta que los niños son una población diferente para el uso y diseño de estas escaleras, porque ellos poseen medidas mucho menores, en el cual, se está excluyendo las medidas de los niños, asumiendo que la escalera diseñada es para uso de personas adultas mayores de 18 años.

Es importante mencionar que el uso de las escaleras depende en gran medida del usuario quien debe hacer un correcto uso de ellas y no infringir en normas de seguridad como, subir o bajar corriendo, que los peldaños estén cubiertos por productos que lo hacen resbalosos, que no se utilicen los pasamanos, entre otros.

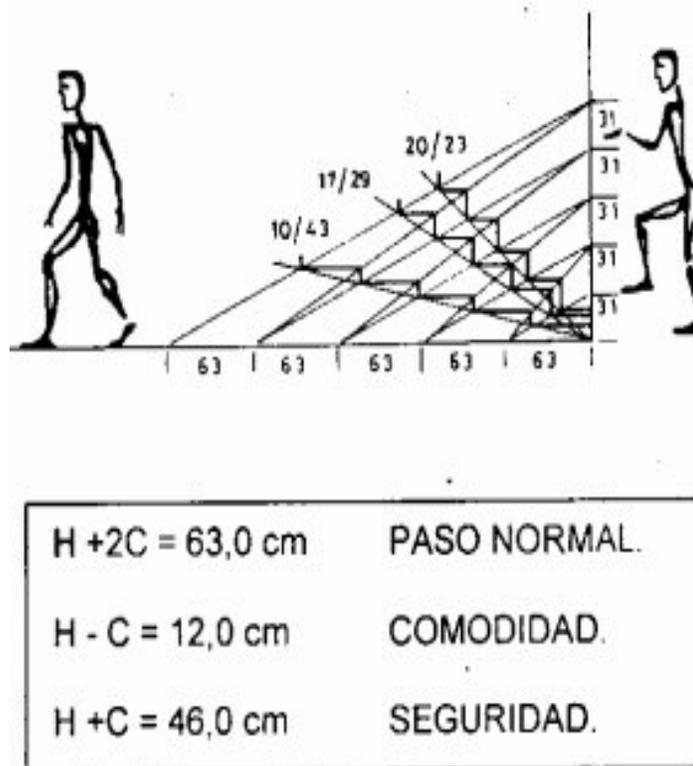


Figura 10. Relación de la huella (H) y contrahuella (C) dependiendo de la inclinación de la escalera. Fuente: (Sevilla et al., 2000).

Como habilidad del diseñador de la escalera debe escoger la manera correcta de la interacción entre la pendiente de una escalera, la cual influye directamente con los otros factores, como es la ergonomía, la seguridad, las condiciones de espacio donde se va a ubicar la escalera, para que se va a utilizar la escalera, condiciones de carga y externas, entre otros. En general para escaleras fijas la pendiente de la escalera será menor en los edificios de uso común, donde el volumen de tránsito de personas por ella es alto y los usuarios no están familiarizados con el edificio. La pendiente se va incrementando y se hace mayor a medida que disminuye el flujo de personal que hace uso de la misma y los usuarios estén familiarizados con el edificio o una parte de él. A continuación, se muestra en la siguiente figura diferentes tipos de pendientes de escaleras.

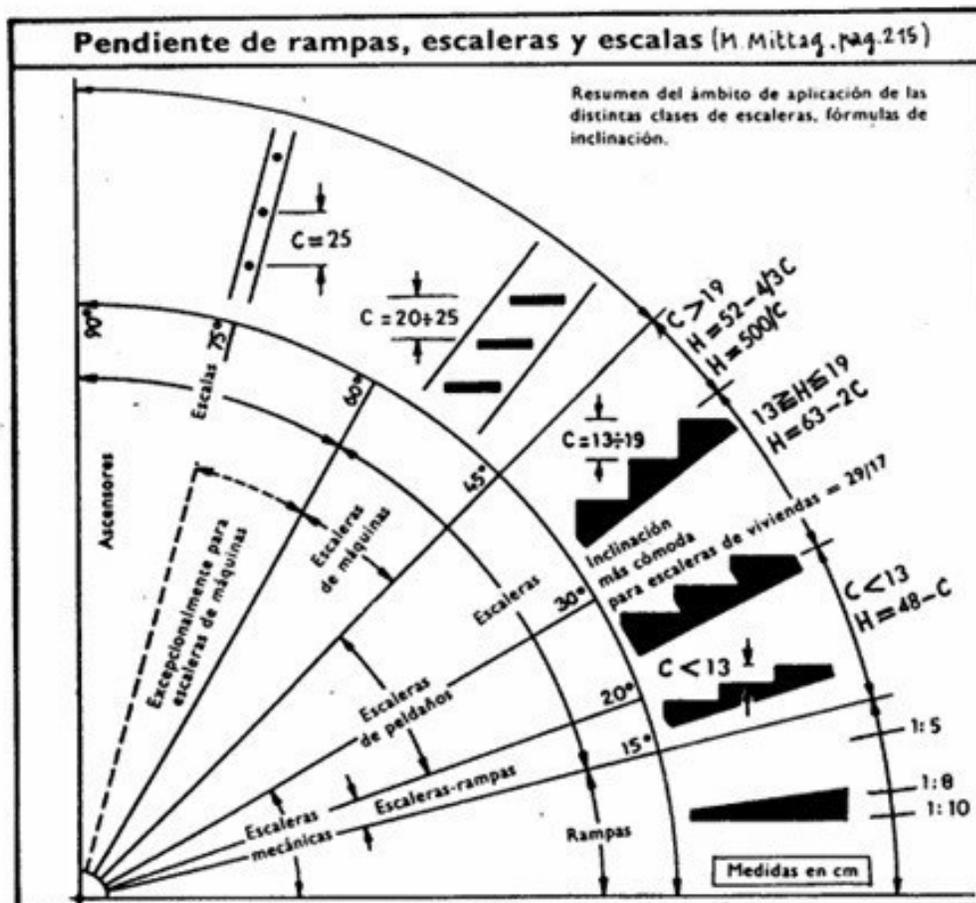


Figura 11. Pendientes de escaleras de acuerdo a su aplicación. Fuente: (Sevilla et al., 2000)

2.3.6. Condiciones de seguridad

Las condiciones de seguridad de una escalera están relacionadas con su diseño y con la elección de materiales de revestimiento. Con carácter general será suficiente comprobar el cumplimiento de las consideraciones siguientes:

- Una escalera será segura en su trazado si se cumple la ecuación: $H + C = 46$ cm

- Los peldaños deben ser iguales, en dimensión y color, en un tramo de escalera y, a ser posible, en todos los tramos de una escalera.
- No deben utilizarse materiales deslizantes, o que adquieran esa condición al ser mojados, para el revestimiento de peldaños.
- Es más peligroso bajar una escalera que subirla.
- Las huellas superiores a 32 cm. pueden ocasionar el tropiezo del tacón en el borde del escalón anterior durante la bajada.
- Las huellas inferiores a 25 cm. no permiten que el pie pueda apoyarse totalmente durante el ascenso.

2.3.7. Soldadura

La American Welding Society – AWS define la soldadura como la unión permanente de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas mediante la aplicación conveniente de calor y/o presión, esta información es referenciada de la norma AWS A3.0 (Cutting & Spraying, 2001). Con relación al tema de soldadura es importante anotar que actualmente existen muchos procesos de soldadura como lo indica el libro Manual de Soldadura (Welding Handbook), Vol. 2, novena edición (De, 2001), pero el proceso de mayor utilización por su versatilidad, bajo costos y buenos resultados es el proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding) que traduce proceso de soldadura eléctrica por electrodo revestido.

- **Proceso de electrodo manual revestido “SMAW”.** La soldadura por arco de metal protegido es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando, como lo menciona Ruby Morato en su proyecto de grado sobre el análisis de los procesos de soldadura aplicados en la industria. (Morato, 2012).

El núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal sólida de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco, tomado del libro Manual de soldadura moderna. (Cary, 1992)

Los electrodos juegan un papel fundamental desde el punto de vista metalúrgico en este proceso porque mejoran las propiedades mecánicas de la zona de fusión. Esto se logra por la acción de elementos aportes de materiales de aleación, incluidos dentro del revestimiento, como se menciona en libro de manual de soldadura emitido por la empresa West arco. (Arco, 2015).

2.3.8. Resistencia de las uniones soldadas.

Desde el punto de vista del diseño mecánico la principal característica que tiene que entregar el material de aporte en el cordón de soldadura y que genera la denominada junta soldada, es que el esfuerzo de fluencia de este material debe ser igual o superior al material base soldado, permitiendo así funcionar como una sola unidad o como un solo material, teniendo en cuenta que se suman parámetros como la longitud del cordón de soldadura junto a la altura de filete del cordón y la cantidad de pases de soldadura que se realicen en la unión.

En la actualidad, los esfuerzos permisibles se basan en el límite elástico del material, en vez de la resistencia última; asimismo, el código permite usar una variedad de aceros estructurales ASTM, con límites elásticos que varían de 33 a 50 kpsi. A condición de que la carga sea la misma, el código permite el mismo esfuerzo en el metal de aporte y en el de base. Para estos aceros ASTM, $S_y = 0.5S_u$. En la tabla 1 tomada del libro del autor Shigley denominado "Diseño en ingeniería mecánica" se enlistan las fórmulas especificadas por el código para calcular estos esfuerzos permisibles en varias condiciones de carga.

Tabla 1. Esfuerzos permisibles para metal de aporte. Fuente: (Douglas & Monel, 2008).

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	N (factor de seguridad)
Tension	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexion	A tope	$0.60 - 0.66S_y$	1.52 – 1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67

2.3.9. Fenómeno de la fatiga.

La definición de fatiga desde el punto de vista de la ingeniería plantea que es un proceso de degeneración de un material sometido a cargas cíclicas de valores por debajo de aquellos que serían capaces de provocar su rotura mediante tracción. Durante dicho proceso se genera por una grieta, la cual si se dan las condiciones adecuadas crecerá hasta producir la rotura del elemento durante la aplicación de un número de ciclos suficientes. El número de ciclos necesarios dependerá de varios factores como la carga aplicada, presencia de fisuras, cambios de secciones, entre otros, esta información fue tomada del documento de (Escacena Ventura, 2010).

Para el caso del acero se define el diagrama S – N, que define las zonas de vida temporal y la de zona indefinida. El punto común a este comportamiento es el llamado límite de fatiga. La figura 12 define el grafico S- N.

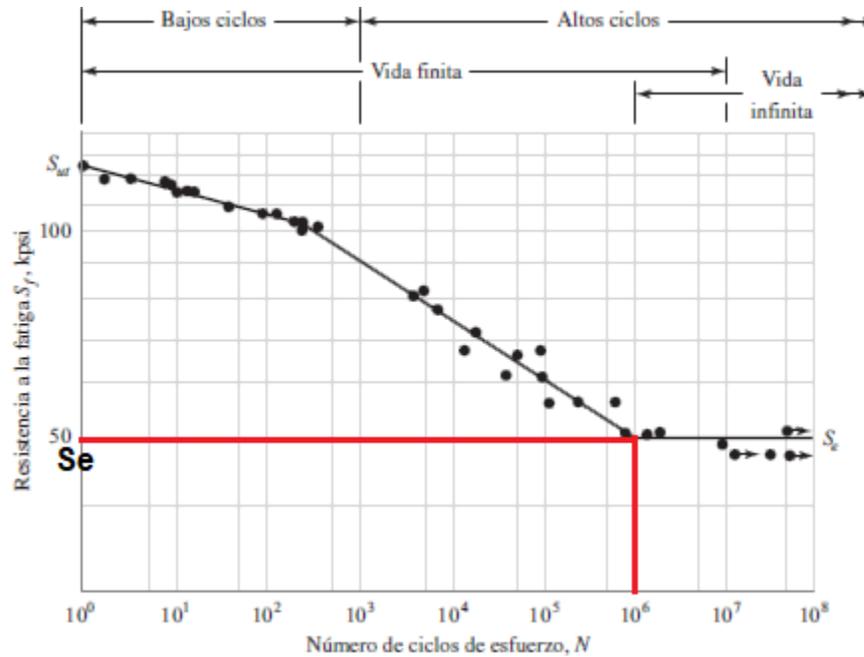


Figura 12. Diagrama S – N para aceros.

2.3.10. Límite de resistencia a la fatiga.

Para el diseño preliminar y de prototipos, así como para algunos análisis de falla, se requiere un método rápido para estimar los límites de resistencia a la fatiga que los realizados por ensayos de laboratorio de los cuales ya se tienen resultados tabulados que sirven de referencia, en el caso de los aceros, al simplificar la observación se estima el límite de resistencia a la fatiga con la ecuación 1.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (1)$$

Donde:

- S_{ut} es la resistencia a la tensión mínima.
- K_a = factor de tamaño de la pieza en la sección en análisis.

- K_b = factor de acabado superficial según proceso de fabricación en la sección en análisis.
- K_c = factor de corrección según tipo de carga. Para flexión $K_c = 1$.
- K_d = factor de ajuste por temperatura de la pieza.
- K_e = factor de corrección por confiabilidad.
- K_n = factores corrección para condiciones particulares de la pieza, medio ambiente, etc.

La ecuación 2 define el modo de calcular el factor de seguridad N ante la falla por fatiga. Si N es mayor a uno se logra vida infinita ante la fatiga de la pieza analizada.

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_{ea}}{S_e} + \frac{\sigma_{em}}{S_{ut}} \quad (2)$$

Donde.

σ_{ea} = esfuerzo equivalente alterno.

σ_{em} = esfuerzo equivalente medio.

Valores calculados con los procedimientos usuales.

2.3.11. Análisis de elementos finitos.

La teoría de los elementos finitos proviene del año 1940 con el trabajo realizado por Alexander Hrennikoff, quien, durante su trabajo en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, desarrolló la analogía de la red que modela la flexión de estructuras de placas y membranas como un marco de red. Si bien este trabajo recibió poca atención en ese momento debido a la falta de potencia computacional, a menudo se considera como el punto de inflexión en la línea de tiempo del análisis estructural que conduce al desarrollo del método de elementos finitos. Más tarde se extendió los modelos de celosía a problemas de pandeo de placas y armazones, e hizo importantes contribuciones a la teoría del diseño plástico de estructuras metálicas,

posteriormente este método se desarrolló en el año 1950 con el nombre de “método de solución matricial”, hoy en día estos métodos teóricos tienen su aplicación en software de análisis de elementos finitos, por sus siglas en inglés FEA (Finite Element Analysis) y el desarrollo computacional ha permitido servir de gran ayuda en el diseño mecánico.

Sigley plantea en su libro de diseño mecánico (Douglas & Monel, 2008) que un componente mecánico real es una estructura elástica continua (un continuo). El FEA divide (“discretiza”), la estructura en pequeñas subestructuras (elementos) de tipo elástico, bien definidas pero finitas. Al emplear funciones polinomiales, en conjunto con operaciones matriciales, el comportamiento elástico continuo de cada elemento se desarrolla en términos del material y las propiedades geométricas del elemento. Las cargas se pueden aplicar dentro del elemento (gravedad, dinámica, térmica, etc.), en la superficie del elemento o en los nodos del mismo. Estos nodos son las entidades fundamentales de gobierno del elemento, en la medida en que el nodo es donde se conecta un elemento con los otros, donde finalmente se establecen las propiedades elásticas de los mismos, donde se asignan las condiciones de frontera y donde, por último, se aplican las fuerzas (de contacto o cuerpo). Las cargas aplicadas y las condiciones de frontera se especifican entonces y mediante operaciones matriciales se determinan los valores de todos los grados de libertad de desplazamiento desconocidos. Una vez que se ha realizado este procedimiento, es algo simple hacer uso de estos desplazamientos para determinar las tensiones y esfuerzos por medio de las ecuaciones constitutivas de elasticidad. A continuación, se muestra una pieza que ha sido modelada por alguno de estos softwares de elementos finitos.

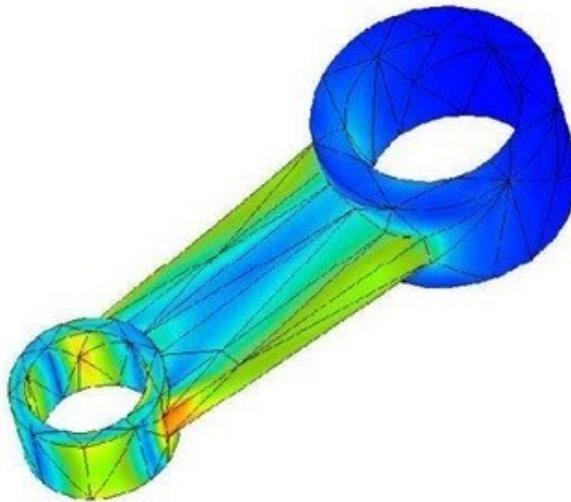


Figura 13. Modelo de una pieza usando software de elementos finitos donde se aprecia el mallado. Fuente: (Bathe, 2016)

2.4. MARCO LEGAL.

El diseño de una escalera se basa en la norma nacional ICONTEC NTC4145 y la norma internacional ANSI 14.7 y la OSHA 1910-29, con el fin de desarrollar un producto que brinda seguridad a las personas que vayan a hacer uso del mismo, requiere que la escalera está diseñada estructuralmente para soportar el peso de una persona no mayor a 300 kilogramos en la plataforma, con este valor se garantiza que las juntas soldadas no falles a causa de esfuerzos mayores ocasionados por una sobre carga.

Como se mencionó en las condiciones de diseño, la seguridad también viene ligada con condiciones geométricas propias del diseño como es el ángulo de inclinación y la posición de la huella y contrahuella, además del material antiadherente en cada peldaño, las barandas de seguridad y los guardapiés para evitar caídas, todas estas condiciones las cumple el diseño.

Por último, pero no menos importante está relacionado con la resolución colombiana 1409 del año 2012 donde reglamenta el trabajo seguro en altura, donde se establecen unas pautas de cumplimiento con el fin de minimizar los accidentes laborales ocurridos a causa de la tarea de alto riesgo como es el trabajo en altura.

Esto implica que no solo que los trabajadores utilicen la escalera, sino que también deben contar con los elementos de protección personal en cantidad y calidad necesarias, de acuerdo con los riesgos reales o potenciales existentes en los lugares de trabajo o el entorno. Además de contar con un botiquín de primeros auxilios, debidamente dotado con los implementos básicos necesarios para atender los riesgos reales y potenciales propios de la ejecución del trabajo en altura que se esté realizando (inmovilizadores, vendas elásticas, fijas, suero fisiológico, gasa, esparadrapo, parches para ojos, entre otros), contar con una camilla rígida u objeto similar en el sitio de desarrollo del objeto contractual o en su efecto e identificar dentro de la empresa o lugar cercano donde se esté desarrollando las actividades, todo esto hace parte del entorno preventivo junto con el análisis de riesgos para realizar las tareas y hacer un uso correcto de la escalera.

Durante el uso de las escaleras con plataformas y durante cualquier tarea de mantenimiento está prohibido el consumo de tabaco en lugares de trabajo Resolución No. 02335 de 31 de mayo de 2005 emitida por la Dirección General de la Aeronáutica Civil, igualmente debe acatarse la Resolución No.- 05282 del 06 de Diciembre de 2006, emitida por la dirección General de la Aeronáutica Civil, donde se determinan normas sobre la prevención y control del consumo de alcohol, drogas y sustancias psicoactivas.

3. DISEÑO METODOLOGICO.

3.1. Tipo de investigación.

Este estudio se desarrolla como una investigación **aplicada**: se basa en la utilización de los conocimientos llevándolos a la práctica, para aplicarlos y así obtener un resultado objetivo, estas investigaciones están muy relacionadas en el campo de la ingeniería donde se busca obtener los resultados concretos de aplicaciones. La investigación aplicada también es conocida con el nombre de Investigación práctica. Actualmente, este tipo de investigación se posiciona en un ámbito muy fértil, considerando la alianza establecida entre la educación y la industria.

3.2. Plan de trabajo.

La metodología seguida para lograr el objetivo de la investigación a través del logro de los objetivos específicos se basa en una serie de 5 etapas mencionadas en la figura 14 con una breve descripción de cada una de ellas.

En la etapa 1 se realiza la exploración bibliográfica mediante la cual se identifican tipos de escaleras, ventajas y desventajas.

En la etapa 2 se desarrolla el concepto de diseño. En este caso se define el mecanismo para la escalera tradicional que permita reducir a voluntad la altura de ella. Detalles geométricos sobre escalones y peldaños se definen según aspectos establecidos en la norma de referencia.

En la etapa 3 se realizan cálculos para definir detalles de diseño y establecer la geometría de partida para construir el CAD de la solución propuesta.

En la etapa 4 se analizan los resultados computacionales, se itera y ajusta el diseño para obtener perfiles de esfuerzos y deformaciones aceptables.

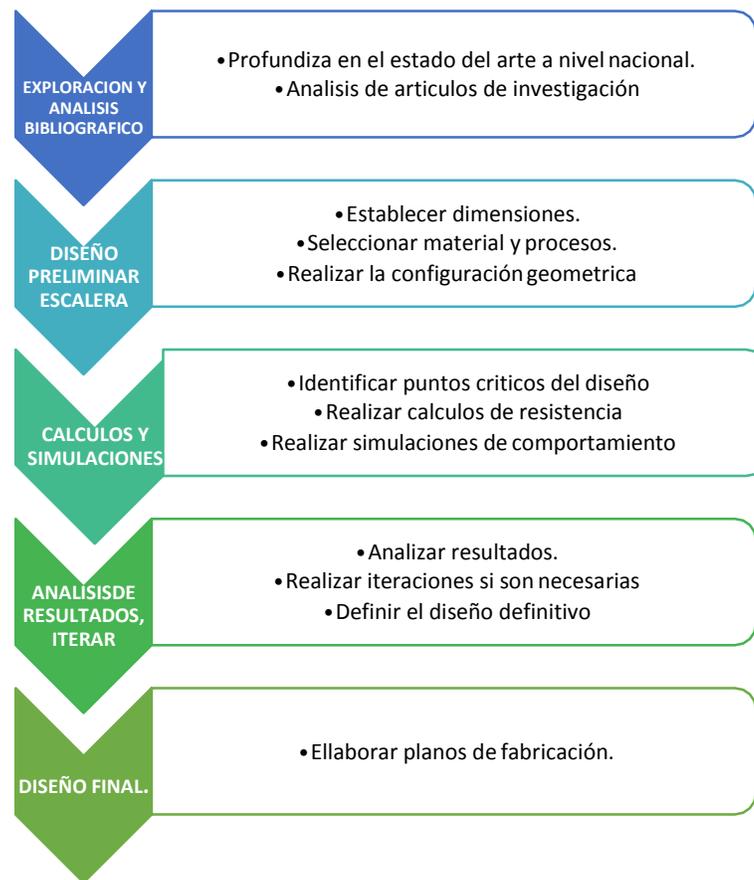


Figura 14. Pasos de la Metodología de la investigación

La etapa final permite desarrollar los planos del sistema mecánico final.

4. PROCESO DE DISEÑO MECÁNICO DE ESCALERA ETA ABATIBLE.

El proceso de diseño aplicado para desarrollar una escalera ETA abatible sigue los siguientes pasos:

- Definición de requerimientos técnicos para la escalera.
- Desarrollo del concepto solución.
- Diseño detallado preliminar.
- Construcción del CAD de la escalera eta abatible.
- Desarrollo de planos.

4.1. Requerimientos de la escalera ETA abatible.

La tabla 2 define los requerimientos técnicos establecidos para la escalera ETA abatible.

Tabla 2. Requerimientos para escalera ETA abatible.

Requerimientos	Origen	Observación
Altura de trabajo en operación. 4 metros.	Empresa	Se aplica en trabajo repetitivo
Peso máximo. No exceda los 220 kilogramos	Diseño	Para facilitar manipulación por 3 operarios máximo
Carga máxima de trabajo para diseño de 300 kilogramos	Diseño	Comprende peso de trabajador máximo de 120 kilogramos y peso adicional de material de trabajo de 50 kilogramos.

		Complementado con un factor de diseño de 1.76 (300 / 170)
Material de construcción. Acero bajo carbono con perfil tubular preferible	Diseño	Minimizar peso
Altura recogida. Menor a 1.5 metros.	Diseño	Facilita almacenamiento y transporte
Medidas de peldaño según normas	Norma	Facilitar subida y descenso de operarios
Mecanismo mecánico para desplegar y recoger escalera ETA	Diseño	Facilitar cambio de configuración
Base apoyada en ruedas con soportes de apoyo tipo freno para asegurar bloqueo de movimiento	Diseño	Para obtener seguridad de operarios
Plataforma estándar tipo jaula	Diseño	Brinda la mayor maniobra y capacidad muscular del operario para realizar acciones de pintado, fuerza de posicionado y similares
Simetría del mecanismo	Diseño	Asegurar estabilidad operacional
Sistema de enclavamiento de la estructura en operación	Diseño	Brinda seguridad para que la escalera mantenga su forma en operación.

Accionamiento manual	Diseño	Permite tener un producto de bajo costo relativo
----------------------	--------	--

Fuente: elaboración propia.

4.2. Generación de la propuesta de diseño de la escalera.

El referente de diseño para la escalera de tipo plataforma ETA es una tipo avión de 5 metros de altura que no es abatible, para comprender mejor su operación y ver cómo se puede rediseñar para lograr ese punto. Basados en los productos comerciales de escaleras que distribuye la empresa Escaleras de Colombia, se obtiene el diseño de una escaleta tipo avión fija construida en acero con la cual se puede alcanzar una altura de 5 metros, como se muestra en la figura 14.



Figura 15. . Escalera tipo avión fija de 5 metros de altura, a) ETA no abatible, b) Modelo 3D de ETA. Fuente: Producto comercializado por Escaleras de Colombia

Con esta información se continúa revisando los diseños comerciales de escaleras que ayuden a brindar una solución al problema planteado y se encuentra un diseño de escalera tipo avión abatible que funciona con dos cilindros hidráulicos, pero la limitante de este diseño es que solo está diseñado para una altura máxima de dos metros, a continuación, se muestra una figura de cómo es la escalera, cuyas imágenes son tomadas de la página web del fabricante que se llama industrial man lifts.



Figura 16.

Figura 17. Escalera tipo avión abatible de 2 metros de altura: Fuente (Manlift, 2020), a) Escalera que funciona con dos cilindros en posición de operación, b) Escalera en la posición de contracción.

Este diseño permite tener una visión de cómo puede quedar la escalera ETA abatible a diseñar en la posición de operación y en la posición de almacenamiento y transporte, a partir de allí se generan ideas y se termina desarrollando el primer dibujo preliminar del modelo 3D de la escalera de la cual se ha tomado una serie de asunciones y se han considerados valores geométricos en el diseño. La figura 17 presenta el concepto de diseño propuesto, derivado de un proceso de prueba y error hasta lograr un mecanismo de pliegue y despliegue.

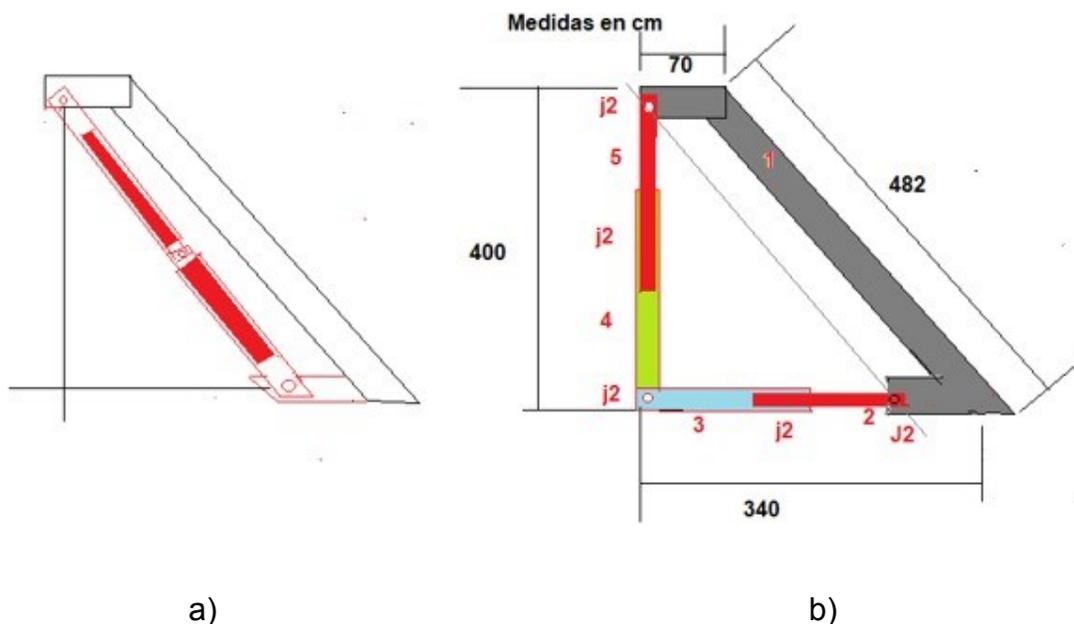


Figura 19. Esquema del concepto de la escalera ETA abatible.

Se observa en la parte b) que se tiene un mecanismo de 5 eslabones con 5 juntas de dos grados de libertad y un grado de libertad adicional que se quita si se tiene en cuenta que los eslabones 2 y 3 reposan en el piso, con lo que los grados de libertad de este mecanismo plano es de 1 grado. $GDL = (3 \cdot (5-1) - 2 \cdot 5 - 1 \cdot 1 = 1)$. Al llegar a estar desplegada la escalera en la posición b) es necesario unir por medio de trabe los eslabones 2 y 3 y los 4 y 5, con lo que el mecanismo se convierte en un triángulo. Con 3 eslabones los grados de libertad son cero y queda una estructura estáticamente determinada. $GDL = 3 \cdot (3-1) - 3 \cdot 2 = 0$ grados de libertad. Aunque la estructura real es espacial, puede modelarse como tipo plana al poseer simetría en dirección vertical y estar en esos planos las cargas, permitiendo unir planos a través del espesor con lo que este análisis simplificado es aplicable. Se observa en la posición a) retraída que la longitud teórica de los eslabones 2,3,4 y 5 es de 490 cm. La longitud de estos mismos eslabones con escalera en operación es de 740 cm. Por lo tanto, la diferencia entre longitud de operación y longitud de escalera recogida es de 250 cm, cifra que se reparte por igual, esto es 125 mm en cada una de los dos pares de eslabones tipo corredera.

La figura 20 presenta un análisis estático de la escalera durante la operación, siendo la carga el peso que corresponde a 2 operarios de 100 kg cada uno más elementos de trabajo que suman 100 kg adicionales para totalizar 300 kg de carga sobre la plataforma. El peso de 200 kg corresponde al propio de la escalera con centro de gravedad determinado mediante el programa Solidworks.

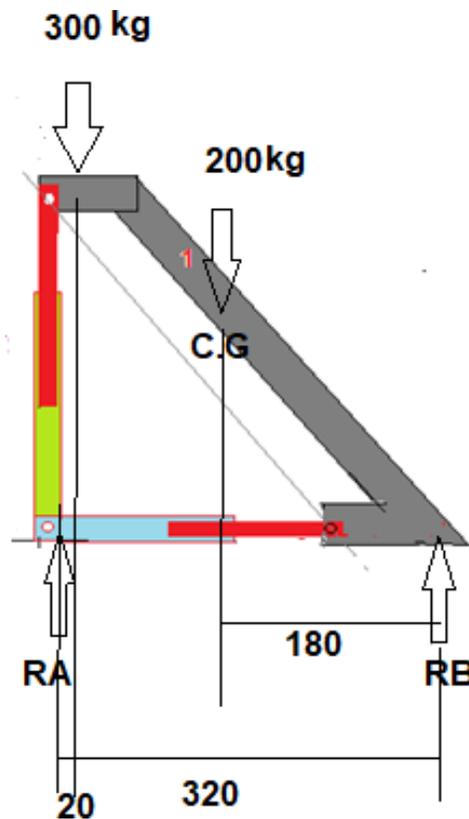


Figura 20. DCL de escalera durante operación.

Realizando sumatoria de momentos en el punto B y sumatoria de fuerzas verticales en equilibrio, resulta $RA = 393$ kg y $RB = 107$ kg.

$$\sum MB = 0 \quad \frac{(300 \cdot 300 + 20 \cdot 180)}{320} = RA, \text{ DE DONDE } RA = 393 \text{ KG}$$

$$\sum Fy = 0 \quad 300 + 20 - ra - rb = 0, \text{ de donde, } RA = 500 - 393 = 107 \text{ KG}$$

4.3. Desarrollo del modelo CAD 3D del producto.

Mediante el programa Solidworks se desarrolla el CAD de la escalera abatible propuesta. La figura 21 muestra el modelo de la escalera ETA diseñada en las dos posiciones basado en el concepto de dos pares de eslabones tipo corredera.

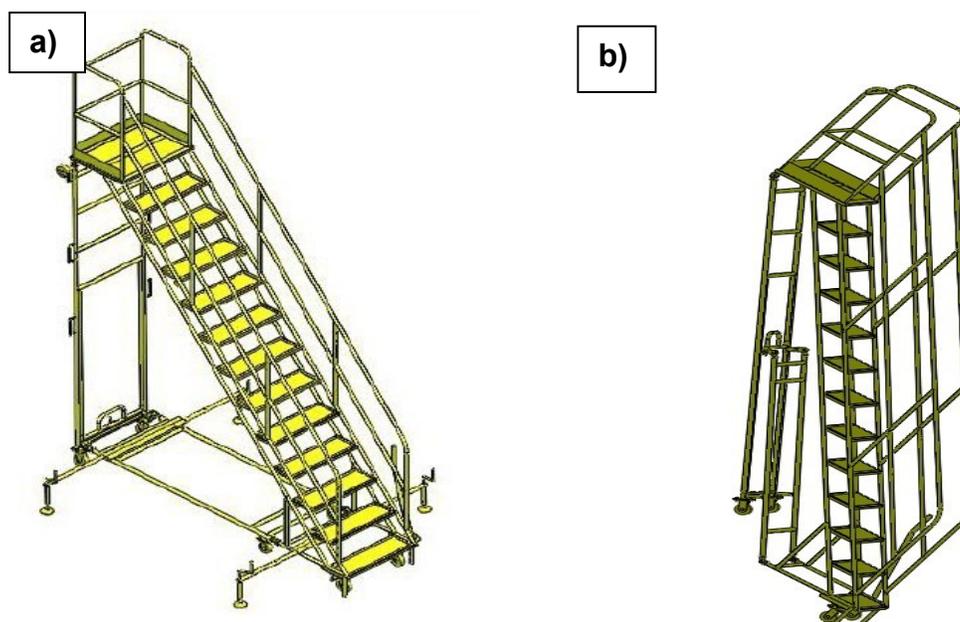


Figura 21. Modelo 3D del diseño de escalera tipo avión abatible de 5 metros de altura. a) Modelo 3D de escalera tipo avión abatible en posición de operación, b) Modelo 3D de la escalera tipo avión abatible en la posición de contracción

El modelo 3D de la escalera se genera con la condición de que la escalera pueda tomar dos posiciones: la primera es la posición de operación y la segunda es la posición de almacenamiento y transporte. Utilizando el software de modelado y dibujo se desarrolla este primer modelo el cual debe ser evaluado posteriormente para comprobar que cumple con las condiciones de resistencia mecánica y brinda seguridad a la persona que utilice la escalera.

El diseño de la escalera cuenta con los componentes mostrados en la figura 22: una estructura metálica central que incluye; peldaños, plataforma y barandas

laterales, un marco plegable vertical, un marco plegable horizontal, sistema de guía para el plegado, sistema de bloqueo de la guía vertical, freno manual, pasador de bloqueo del freno y cuatro ruedas de apoyo.

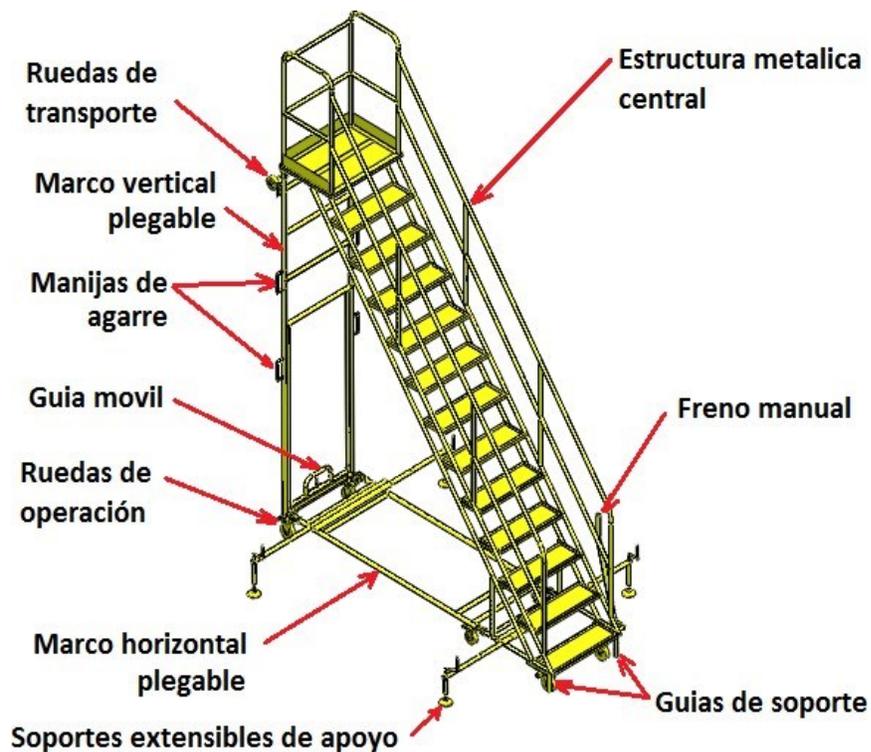


Figura 22. Modelo 3D de las partes de la escalera.

En la figura 22 se muestra el dibujo del modelo 3D en despiece de la escalera donde se puede apreciar cómo se ensambla. Cada uno de los siguientes componentes están unidos por uniones permanentes como puntos soldados y otros elementos los cuales son elementos consumibles que se requieren cambiar durante la vida de servicio de la escalera están conectados por uniones desmontables como son los tornillos.

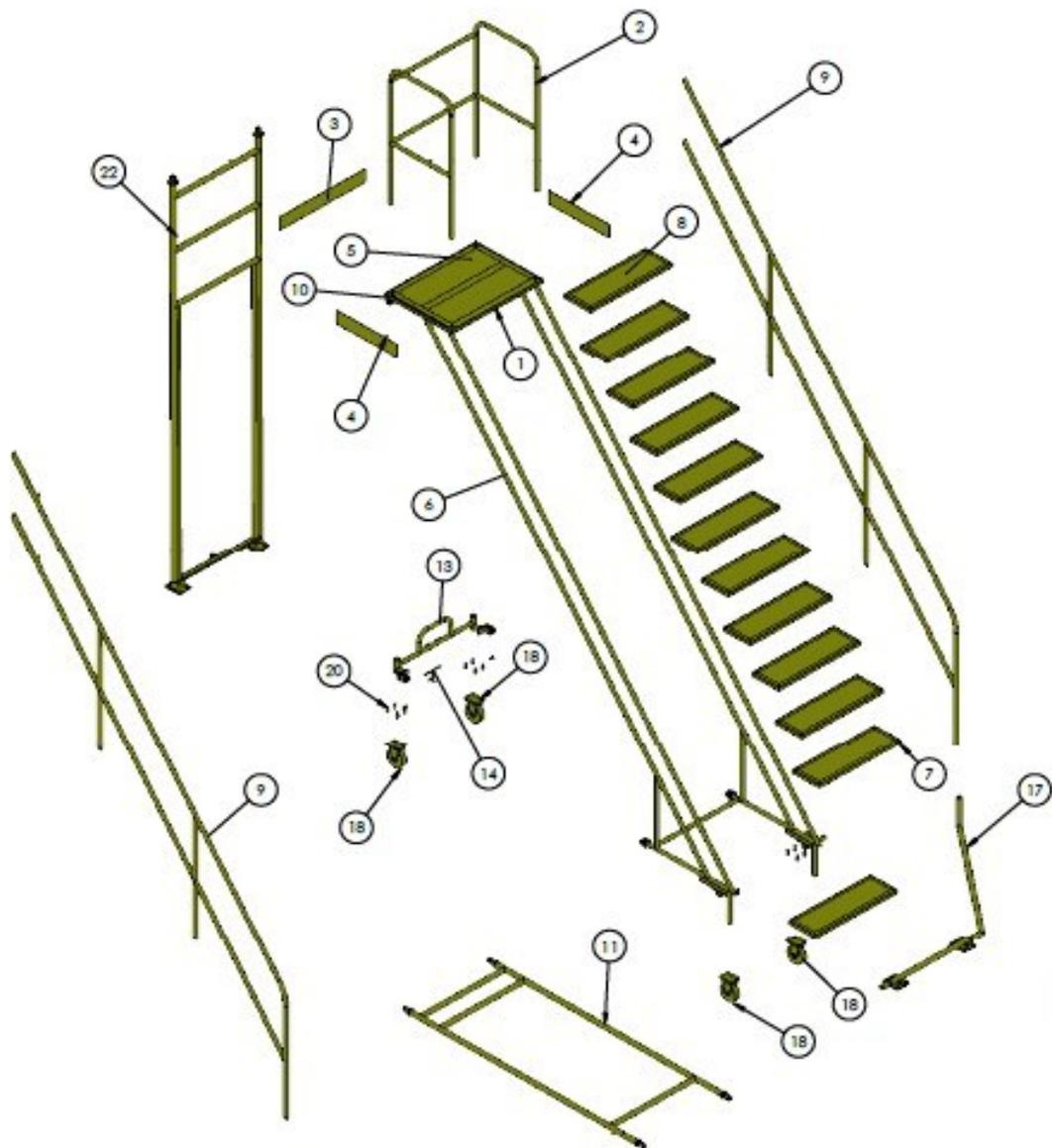


Figura 23. Dibujo del modelo 3D de despiece de la escalera.

En la tabla 2 se presentan los materiales seleccionados previamente con sus dimensiones geométricas antes de ser evaluados por su resistencia.

Tabla 3. Elementos que conforman el diseño mecánico de la escalera diseñada con relación al modelo 3D presentado.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Base_plataforma	1
2	Baranda_de_plataforma	1
3	Rodapie_700	1
4	Rodapie_500	2
5	Lamina_plataforma	1
6	Lateral_escalera	1
7	Marco_peldano	12
8	Lamina_peldano	12
9	Baranda_lateral	2
10	Acople_01	2
11	Marco_horizontal	1
12	Marco_vertical	1
13	Guia	1
14	Pasador_seguridad	1
15	Acople 02	2
16	Acople 03	4
17	Freno	1
18	Rueda_5_pulgadas	4
19	HBOLT 0.3750-24x1.75x1-N	12
20	HBOLT 0.5000-20x1x1-N	6
21	hex bolt_a11	12
22	HNUT 0.5000-20-D-N	12
23	flat washer type a narrow_ai	12
24	HBOLT 0.5000-20x2x1.25-N	12

Este diseño parte de las suposiciones de seleccionar tubería ASTM A-53 grado A, de diámetros de 1 pulgada y en otras secciones de diámetros de 3/4 de pulgada, ambos tubos Schedule 40, todos son soldados bajo el proceso de soldadura de arco por electrodo revestido.

4.4. Análisis del mecanismo abatible de la escalera.

El diseño de la escalera abatible se base en un mecanismo de “corredera manivela” y se explica de mejor manera con el esquema de la siguiente figura, donde la escalera se encuentra en la posición inicial o posición de almacenamiento y transporte. La escalera en esta posición se puede mover horizontalmente sobre el piso gracias a las ruedas ubicadas en los puntos F y G. La figura 24 muestra una vista frontal de la escalera, pero en la posición real en los puntos F hay dos ruedas de igual manera que en la posición G, por lo tanto, está apoyada sobre 4 ruedas de 5 pulgadas que distribuyen su peso al suelo, por otro lado, la rueda ubicada en la posición E no entra en contacto con el piso durante esta posición.

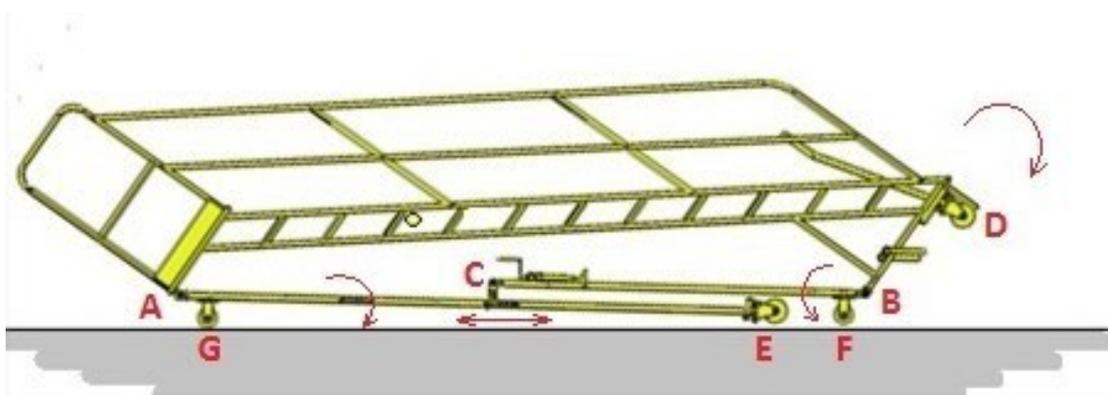


Figura 24. Mecanismo del diseño de la escalera abatible en posición de reposo o cierre

Cuando se desea llevar la escalera a la posición vertical de operación y darle uso, es necesario aplicar una fuerza en el punto D que impulsa el giro en el sentido de las manecillas del reloj y lleva la rueda ubicada en D a tocar el piso, todo el sistema pivotea en la rueda F, y de manera simultánea la rueda G pierde el contacto con el piso y la rueda E hace contacto con el suelo, a su vez que todo esto sucede el mecanismo corredera ubicado en el punto C se desliza hacia el punto E, todo este sistema está conectado entre sí.

El eslabón BC tiene un movimiento angular y permite que por intermedio de la corredera en C deslizarse por el eslabón AE, de esta manera los eslabones AE y BC quedan en posición ortogonal formando un ángulo de 90° en la posición de operación de la escalera, en esta posición el eslabón BC queda alineado con el BC y las rueda D queda apoyada en el piso junto con la rueda en E.

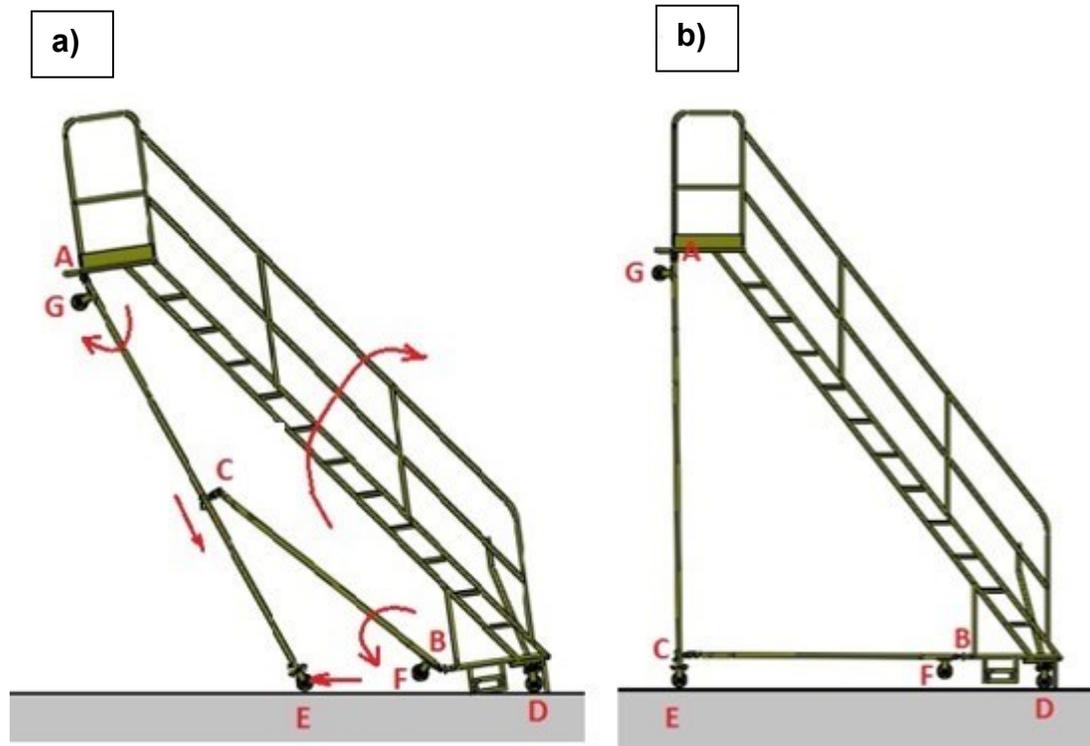


Figura 25. Secuencia de movimientos del mecanismo corredera manivela de la escalera abatible, a) Mecanismo corredera manivela en movimiento para llegar a posición de operación partiendo del reposo, b) Mecanismo corredera manivela en posición de operación.

Una vez se alcanza la posición final o de operación de la escalera se procede a colocarle un seguro mecánico que está en la parte del punto C, donde se asegura con el fin de evitar el movimiento del mecanismo y que la escalera se cierre durante su uso. A continuación, se muestra una secuencia en imágenes del modelo 3D de estas posiciones donde se muestra con mayor claridad los puntos explicados con anterioridad hasta llegar a la posición de operación.

El mecanismo de corredera está diseñado con una sección de tubo de una pulgada de diámetro el cual se desliza sobre otro tubo de menor diámetro, todo este sistema está montado sobre la pieza 22 del conjunto denominado marco vertical. En la figura 23, se muestra una secuencia con imágenes del modelo 3D donde se aprecia de cerca el movimiento de la guía corredera (C) que se desliza para llegar a la posición de trabajo final y la forma de asegurar el sistema con un pasador mecánico según muestra la figura 26.

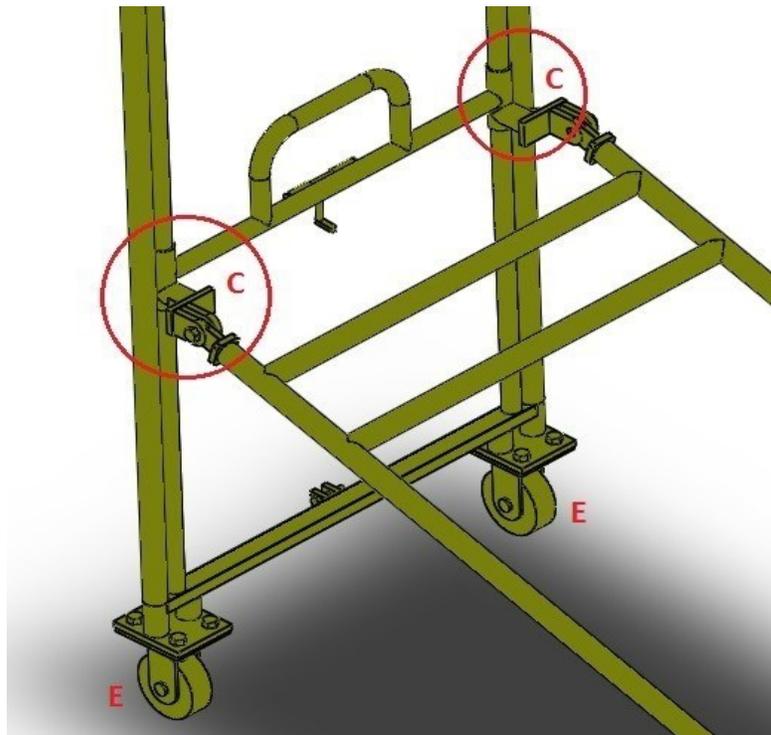


Figura 26. Movimiento de la corredera C, sobre los tubos guías para llegar a posición de operación

Se observa que las guías deslizantes C poseen conexión de pasador con el marco horizontal plegable de la figura 22, facilitando el cierre y apertura del mecanismo de la escalera ETA ajustable. Observe el pasador de seguridad que fija el mecanismo para volverlo una estructura.

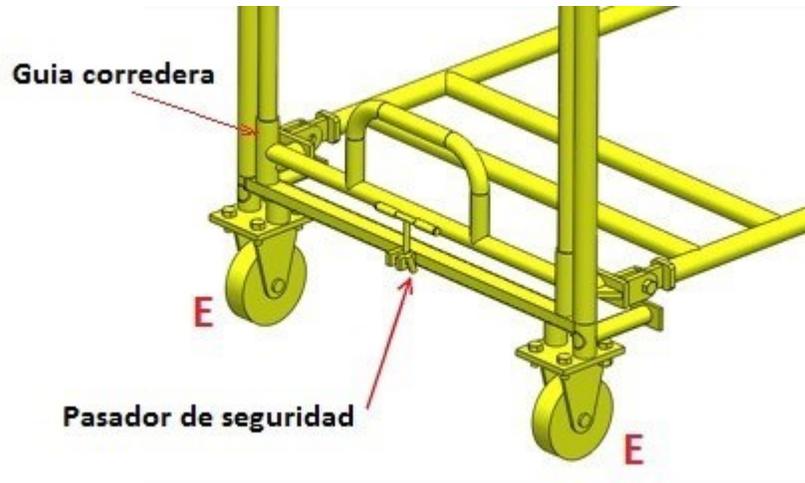


Figura 27. Posición de operación de la guía corredera C cuando llega al tope y se asegura con el pasador mecánico

4.4.1. Cálculos de fuerzas para mover el mecanismo de la escalera.

Se considera que la escalera será utilizada por personas que desempeñan actividades laborales, es decir que son mayores de 18 años y que están reguladas bajo las normas colombianas del código sustantivo del trabajo, por lo tanto, están cubiertas por lo que menciona la Resolución 2400 del 2 de mayo de 1979. Título X. Del manejo y Transporte de Materiales. Del Ministerio del Trabajo de Seguridad Social, en sus artículos 390- 392- 393, establece los valores límites permisibles para el levantamiento y transporte de cargas, para lo cual establece en el artículo 392: la carga máxima que un trabajador, de acuerdo a su aptitud física, sus conocimientos y experiencia podrá levantar será de 25 kg. de carga compacta; para las mujeres, teniendo en cuenta los anteriores factores será de 12.5 kg. de carga compacta. Sin embargo, dado que manipular la escalera abatible es un trabajo de fuerza ocasional se considera una fuerza por operario de 50 kg.

Partiendo de la información anterior se debe estimar cuantas personas podrán participar en el momento de activar el mecanismo de la escalera de la posición de

cierre (figura 24) hasta la posición de operación, conociendo que la escalera pesa 200 kg según resultados entregados en el modelo 3D. Si se efectúa un cálculo rápido y se dividen los 200 kg que pesa la escalera entre los 50 kg de carga máxima que puede levantar una persona, se tiene que se requieren 4 personas para levantar la escalera, pero como en realidad no se requiere levantar la escalera del piso, sino activar el mecanismo corredera manivela y que la escalera pueda llegar a la posición de operación según la secuencia de movimiento de la figura 25. Como ya se describió previamente el movimiento del mecanismo abatible de la escalera, ahora se procede a realizar un cálculo de las condiciones de fuerzas generadas por las personas que van a mover el mecanismo desde la posición de reposo hasta la posición de operación de la escalera.

Para realizar el análisis de fuerza se lleva a un modelo plano de la escalera, es decir un modelo en el plano x, y , a pesar que la escalera es un cuerpo tridimensional, se puede simplificar de esta manera por su simetría y forma de aplicación de las fuerzas donde todas están presentes en un plano vertical, adicionalmente porque con ayuda del software se conoce el centro de masa en las dos posiciones de cierre y apertura.

La primera forma de analizar el problema de fuerzas que se requiere para activar el mecanismo de la escalera es asumir que se coloca una persona en la parte de acceso de la escalera punto D y que esta ejerce una fuerza con valor $F = 25 \text{ kg}$ equivalente a 245 N, como lo exige la resolución 2400, se asume en la posición a 45° es decir tendrá una componente en eje x y en el eje y . Se calcula el valor de las fuerzas que se debe ejercer en el otro extremo punto A para ver cuántas personas será necesario colocar allí para levantar la parte posterior de la escalera. Como se muestra en la figura 28. La fuerza vertical en el punto D de valor 184 N se considera el 75 de la fuerza manual que el operario puede realizar apoyando el pie en este punto D.

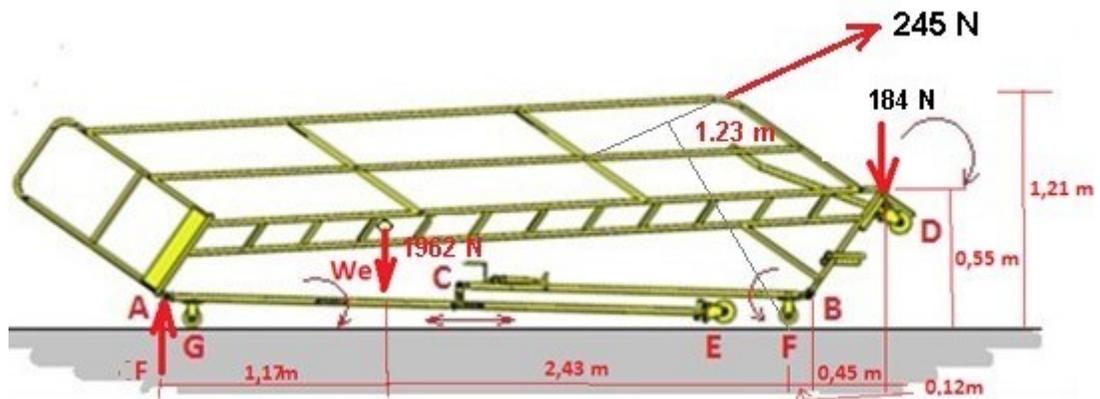


Figura 28. Calculo de la fuerza F para determinar cantidad de personas en esa posición.

Se realiza sumatoria de momento en la rueda F y se considera que el giro de las fuerzas en el sentido a las manecillas del reloj es positivo.

$$\sum M_F = 0 \quad (3)$$

Desarrollando la ecuación 3 para el diagrama de la figura 28 se obtiene:

$$F * (1,17 \text{ m} + 2,43 \text{ m}) + 245 * 1,23 + 184 * 0,57 - 1962 * (2,43 \text{ m}) = 0$$

Donde $We = 200 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 1.962 \text{ N}$ y reemplazando ese valor en la ecuación y despejando el valor de F se obtiene que:

$$F = \frac{4.361.43 \text{ N} \cdot \text{m}}{3,6 \text{ m}}$$

$$F = 1.211.5 \text{ N}$$

Con este resultado se estima que la fuerza en el extremo debe ser de 1.211.5 N equivalente a 123.5 kilogramos. Si a este valor se divide entre los 25 kilogramos que es lo máximo permitido levantar por ley en el trabajo sin ayuda mecánica

entonces se requieren 5 trabajadores en ese lado de la escalera. Ahora, como esta acción es ocasional se permite una fuerza por obrero de 50 kg o 490 N. Con esto el número necesario de personas en el extremo posterior de la escalera es de 3 ($1211.5/490= 2.47$). En realidad, la fuerza para iniciar el levantamiento por operario es de 403.88 N o 41.16 kg ($1211.5/3$). Por ello puede concluirse que 3 operario levantando el extremo posterior y uno en el extremo de acceso pueden posicionar la escalera para su utilización.

4.5. Análisis computacional de esfuerzos y deformaciones en componentes.

Como se debe escoger un miembro estructural para diseñar la escalera, se tienen principalmente tres tipos de perfiles comerciales los cuales son la tubería circular, la tubería cuadrada y la rectangular. El criterio de selección del elemento estructural seleccionado es la tubería circular porque esta tubería presenta un mayor momento de inercia, asumiendo que estos elementos que forman la escalera van a trabajar principalmente a tensión, compresión y flexión.

Se asume que se va a fabricar la escalera con tubería circular de material acero de bajo carbono cuya resistencia a fluencia de tablas de fabricante es aproximadamente 30.000 psi (250 MPa). Ver A anexo 1 ficha técnica del acero ASTM A-53 GRADO A y la resistencia máxima a tensión está entre 408 a 561 MPa y se asume un espesor inicial de tubería cedula 40 y se valida la resistencia del cordón de soldadura en función del espesor del tubo seleccionado.

Con el modelo 3D desarrollado se evalúan diferentes factores de seguridad y deformaciones desde el punto de vista mecánico. Lo primero por definir es la soldadura de los elementos estructurales, pero antes de esto, se realiza la siguiente consideración la cual se basa en la resistencia de materiales.

4.5.1. Análisis de la soldadura en las patas de soporte

En la soldadura por filete se realiza el análisis de cargas de dos maneras una es por cargas transversales y la otra es por cargas paralelas como se muestra en las figuras 29 y 30, a partir de allí se utilizan las formulas definidas para obtener la estimación de la altura h del filete que soporte las condiciones de carga con un factor de seguridad mínimo $n=2$ según define la norma NTC 4145 para escaleras.

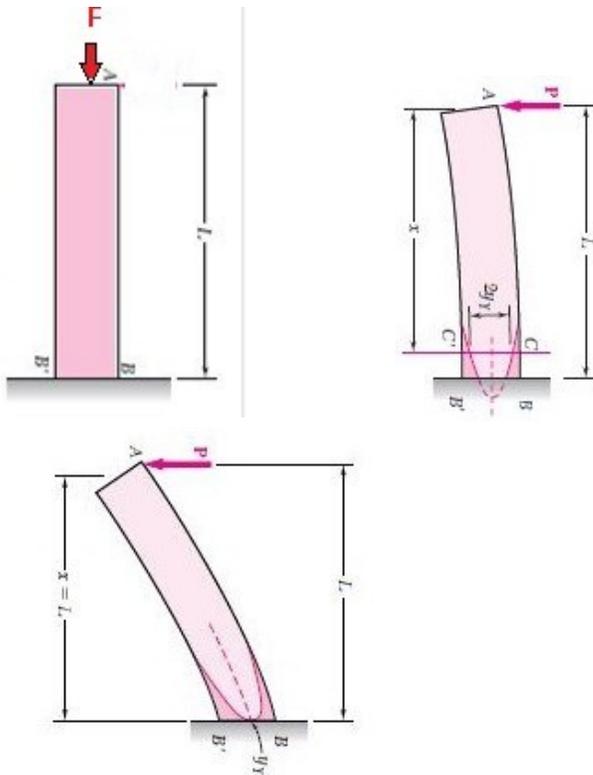


Figura 29. Cargas longitudinales y transversales que generan momento cortante en uniones soldadas de filete en la base del tubo con la lámina

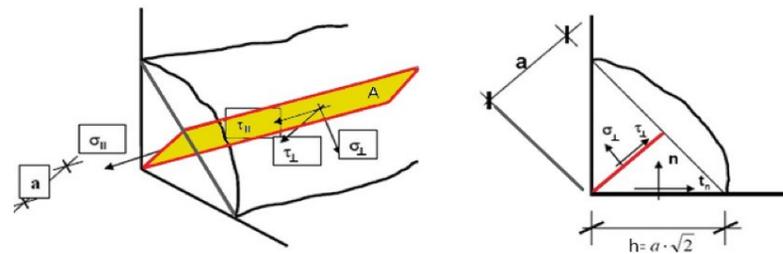


Figura 30. Detalle del plano de corte en la soldadura por filete para el análisis de ecuaciones

Se tiene como fuerza de entrada a los cordones del soporte de la escalera, la carga asumida por un usuario con un sobredimensionado es decir de 300 kg que corresponde con la norma ANSI A14.7, esto es equivalente a 2.943 N, adicionalmente se le suma el mismo peso que ejerce la estructura de la escalera por la fuerza de la gravedad y que son unos 200 kilogramos adicionales equivalente a 1962 N totalizando 4905 N, para tener un rango de seguridad adicional se asume una condición de sobrecarga del 1,2 por ciento y se realizan los cálculos, entonces la carga de operación crítica es de 6.000 N.

Con esta condición de carga se seleccionan los puntos críticos del diseño en términos de uniones soldadas y se aplica la teoría de falla de un material dúctil sometido a una carga estática, en este caso para la soldadura, utilizando la teoría de la energía de distorsión (Von Mises) y la teoría del esfuerzo cortante máximo. Se calcula la altura del filete de la soldadura "h", para mantener un factor de seguridad mínimo $n = 2$ como criterio de seguridad del diseñador y garantizar la seguridad de las personas que vayan a usar la escalera de manera simultánea.

En la figura 31 se muestra uno de esos puntos críticos del modelo es sobre la lámina donde se apoya la rueda y también sobre la que descansan dos tubos de una pulgada de diámetro Schedule 40 como se aprecia en la figura anterior, donde se escoge este punto porque sobre ellos recae toda la fuerza a compresión cuando la persona que esté utilizando la escalera esté sobre la plataforma.

Estimación de la variación de la altura h del filete de soldadura con relación al factor de seguridad y a la carga de 6.000 N aplicada en dirección paralela a las superficies circulares que genera un esfuerzo cortante sobre la soldadura que une al tubo y la lámina. (Considerando de manera crítica un solo punto de apoyo).

El análisis considera de manera conservativa que la carga se aplica en una de las dos columnas de carga de la escalera en el lado posterior según indica la figura 28.

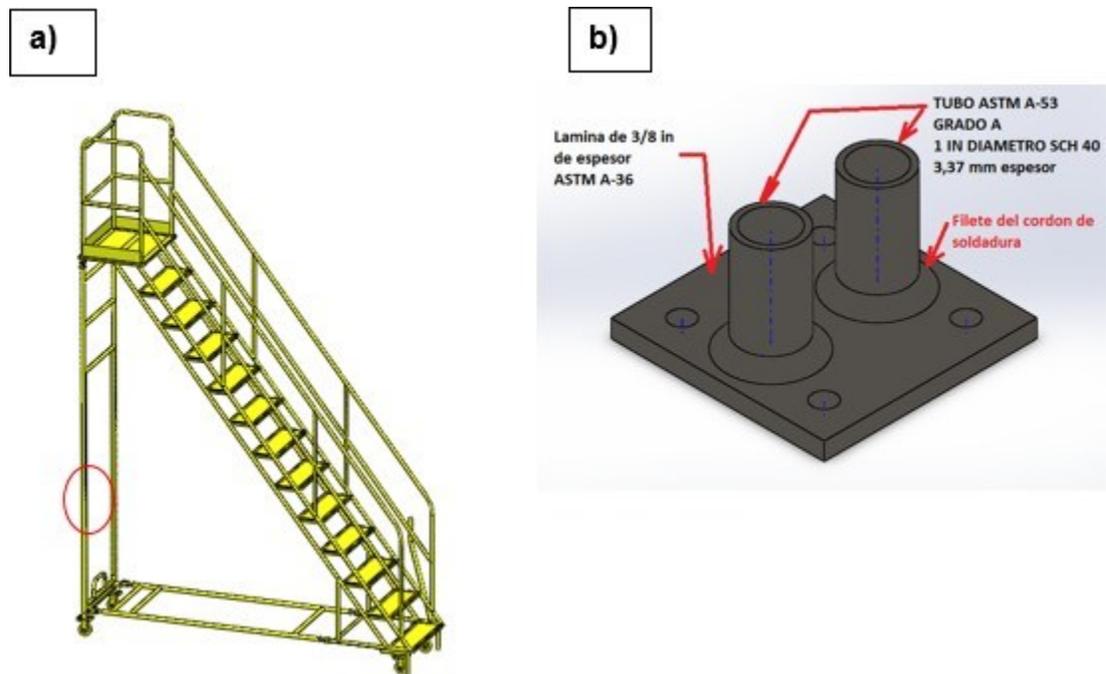


Figura 31. . Punto de análisis del cordón de soldadura que une la tubería con la lámina donde se coloca la rueda. a) Modelo 3D de escalera tipo avión abatible en posición de operación, b) Esquema de punto para realizar el análisis de soldadura.

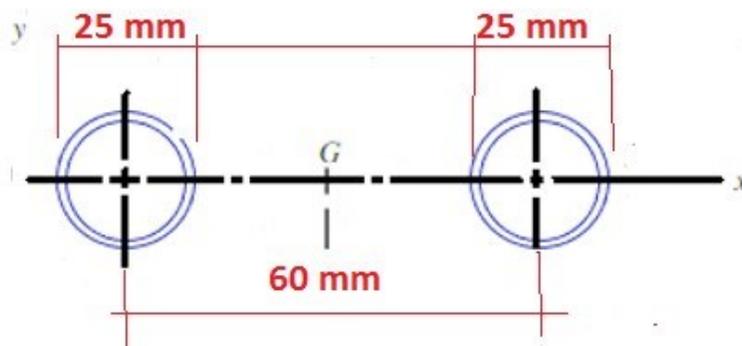


Figura 32. Vista superior de los cordones de soldadura.

Para el cálculo del tamaño h del cordón se usan las siguientes formulas:

$$\tau' = \frac{Fh}{A} \quad (4)$$

τ' = Cortante primario (Mpa)

$F_h = \text{Fuerza aplicada (N)}$

$A = \text{área de la garganta (mm}^2\text{), donde } A = 1,414\pi r h$

$$\tau'' = \frac{Md'}{I} \quad (5)$$

$\tau'' = \text{Cortante secundar flexión en junta soldada}$

$M = \text{momento producido por la fuerza cortante}$

$d' =$

$= \text{distancia existente entre el centroide del grupo de juntas y el punto de interes}$

$I =$

$= \text{segundo momento polar de área del gupo de juntas con respecto al centroide}$

De acuerdo a las tablas de soldadura para la condición dada I es igual a:

$$I = 1,414h\pi(r^3)$$

$h = \text{altura del filete (mm)}$

$r = \text{radio de la barra soldada (mm)}$

La magnitud del cortante es:

$$\tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2} \quad (6)$$

$\tau: \text{Magnitud del cortante (Mpa)}$

El factor de seguridad es:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (7)$$

$n = \text{factor de seguridad criterio de energía de distorsión}$

$S_{sy} = 0,577 * S_y$ donde S_y es el esfuerzo a fluencia del material

$\tau = \text{magnitud del cortante (Mpa)}$

Agregando valores se llega la ecuacion (8)

$$n = \frac{0,577S_y}{\left[\left(\frac{F_h}{2(1,414\pi r h)} \right)^2 + \left(\frac{Md'}{2[1,414\pi r^3]} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (8)$$

La tabla 4 define los datos para realizar el proceso de iteración con el cual determinar el tamaño mínimo h del cordón para un factor de seguridad n igual o mayor a 2.

Tabla 4. Datos numéricos del análisis del cordón de soldadura para una fuerza horizontal de corte paralelo al plano de la lámina que soporta la rueda.

Símbolo	Descripción	Valor	Unidad
S_y	Esfuerzo de fluencia del material	250	Mpa
r	Radio de la barra soldada	12,7	mm
F_v	Fuerza aplicada	6.000	N
M	Momento de fuerza por distancia a la base	114.000	N mm
d'	Distancia del centroide	100	mm
h	Altura del filete*	-	mm
n	Factor de seguridad en la junta soldada	--	

Este valor se cambia hasta obtener un factor de seguridad n igual o mayor a 2.

Tabla 5. Cálculo del valor del factor de seguridad en función del h para el análisis de esfuerzo por cortante en la soldadura

Valor de h	Unidad	Valor de factor de seguridad n	Criterio Aceptación
			$n \geq 2$
3,17	mm	1,29	No Cumple
4,76	mm	1,94	No Cumple
6,35	mm	2,58	Si Cumple
9,52	mm	3,88	Si Cumple

Se define un tamaño de cordón de soldadura de 9 milímetros o 3/8 de pulgada.

El valor analítico obtenido para los cordones de soldadura en soporte de la escalera se comprueba de manera computacional, utilizando la aplicación MEF (método de elementos finitos) del programa Solidworks. Los supuestos para el análisis son:

- a) Se considera que la soldadura aplicada para la fabricación de la escalera será el proceso SMAW utilizados para unir la tubería circular entre sí, los ángulos y las láminas de acero, generando unas juntas soldadas las cuales cuentan con propiedades mecánicas iguales o superiores al acero estructural ASTM A-53 utilizados en la fabricación de la escalera, cuyo esfuerzo de fluencia es de aproximadamente 250 Mpa.
- b) Se considera una carga de diseño máxima ejercida de 300 kg y peso de la escalera de 200 kg.
- c) Toda la estructura de la escalera esta soportada por cuatro ruedas de 5 pulgadas de diámetro las cuales soportan todo el peso.
- d) Se considera que la tornillería utilizada en las juntas de unión de los elementos conectores soporta los esfuerzos cortantes ejercidos por la carga en vacío y la carga máxima de trabajo.
- e) Se asume que el material que será utilizado en la fabricación de la escalera pasará por un proceso de inspección en el momento de ser fabricado como elemento comercial y se utiliza la información de las propiedades mecánicas contempladas en la ficha técnica, ver A anexo 1, pero en esta investigación no se hace necesario realizar un análisis de espectrometría para validar esta información.
- f) Las barandas de la plataforma y la escalera no podrán ser utilizadas como puntos de anclaje para trabajo en altura, su fin es de evitar y prevenir la caída.

Estos cálculos son validados con el software de elementos finitos donde se realiza la simulación tomando un valor del h de 9 milímetros para ver los resultados y comparar. La figura 33 indica un esfuerzo von mises máximo de 135.44 MPa.

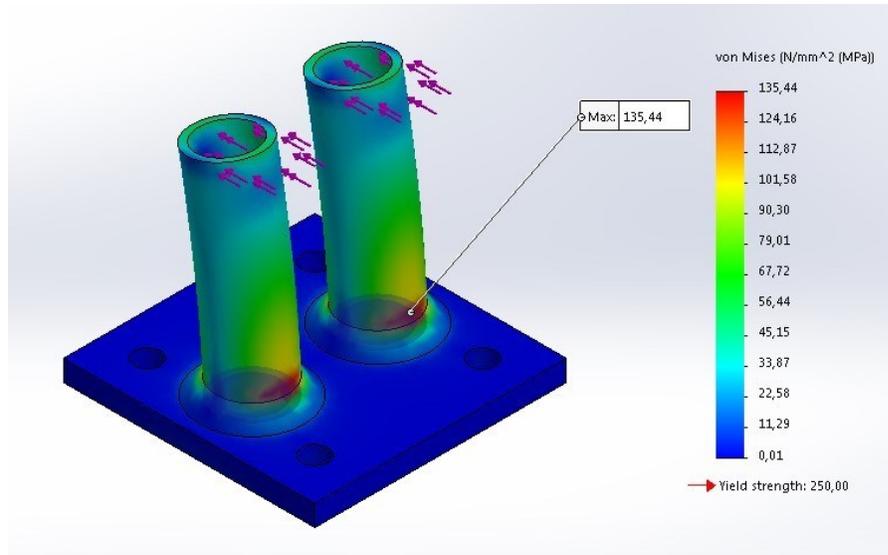


Figura 33. Distribución de los esfuerzos realizados sobre el cordón de soldadura de la lámina que soporta la rueda con el tubo recto de soporte.

El valor máximo del esfuerzo computacional von mises es de 135.44 MPa. Por lo tanto, el factor de seguridad para una resistencia de fluencia de 250 MPa es de 1.85 ($250 / 135.44$). Sin embargo, dada una sobrecarga de 1.76 ($300 / 170$), donde 170 kg es el peso máximo real del operario con todos sus aditamentos y herramientas, se tiene que el esfuerzo real sería de 77 MPa ($135.44 / 1.76$). El factor de seguridad real estimado es de 3.24 ($250 / 77$). Se concluye que al ser mayor a 2, valor límite mínimo para el factor de seguridad según define la norma, se logra un diseño seguro contra las fallas de los cordones de soporte y los resultados analíticos y computacionales arrojan resultados muy similares.

4.5.2. Análisis de los peldaños de la escalera.

Se considera este cálculo válido para cada uno de los 12 peldaños que conforma la escalera y el cálculo es independiente de la plataforma en la parte superior. Las dimensiones principales de cada peldaño son de 700 mm de largo por 230 milímetros de ancho. A continuación, se muestra el modelo en 3D con el cual se realiza la simulación de las condiciones de carga que soporta el peldaño. Primero

se evalúa la condición en la cual se coloca una carga de 300 kg apoyada solamente en la lámina y así se estima el comportamiento de los peldaños de la escalera y la resistencia mecánica de acuerdo al material seleccionado. La figura 34 presenta el componente a evaluar computacionalmente.

La tabla 6 define los datos entrada para la simulación de esfuerzos sobre los peldaños.

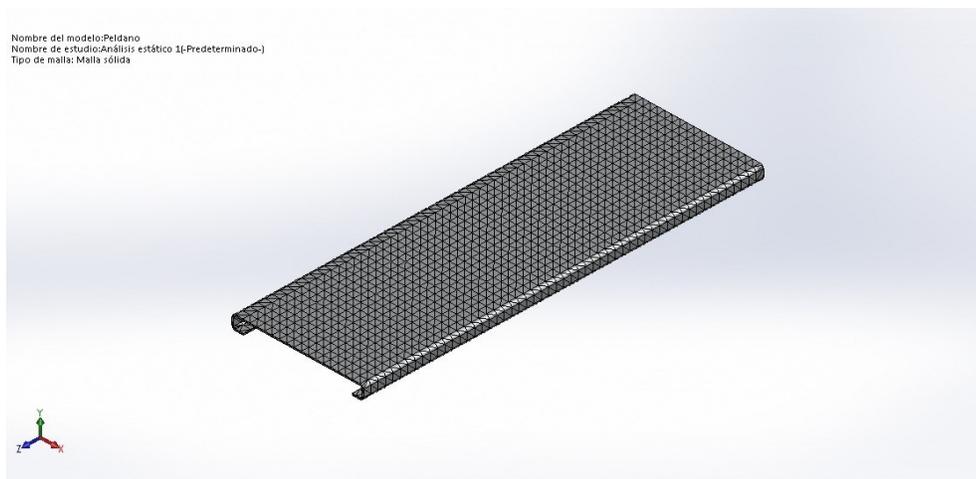
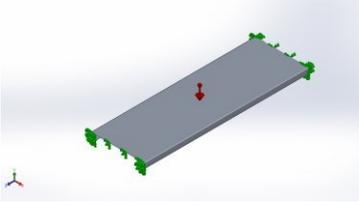
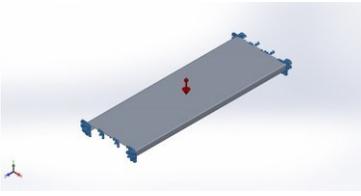
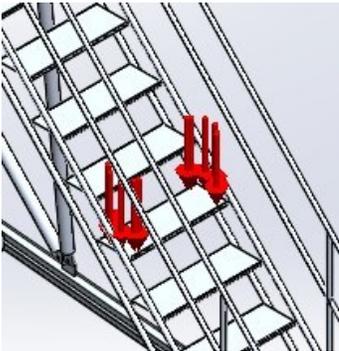


Figura 34. Mallado del modelo 3D para la simulación de resistencia de un peldaño

Tabla 6. Condiciones de cargas y sujeciones aplicados al modelo 3D del escalón

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo al extremo		Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Imagen de cargas	Detalles de carga
Gravedad		<p>Referencia: Planta</p> <p>Valores: 0 0 -9.81</p> <p>Unidades: SI</p>
Masa distribuida sobre un peldaño		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa)</p> <p>Sistema de Coordenadas coordenadas: cartesianas globales</p> <p>Traslación Valores: ---, ---, --- mm</p> <p>Rotación Valores: ---, ---, --- deg</p> <p>Coordenadas de 0 0 0 mm referencia:</p> <p>Masa remota: 300 kg</p> <p>Momento de inercia: 0,0,0,0,0,0 kg.m²</p> <p>Componentes NA transferidos:</p>

Como resultado de las simulaciones usando el software de análisis de elementos finitos se obtienen los siguientes resultados. El esfuerzo von mises máximo es de 96 MPa localizado en el punto central del peldaño. Aquí mismo ocurre un desplazamiento máximo de 1.5 mm valor mínimo que garantiza estabilidad y seguridad durante el posicionado de obreros sobre la escalera. El factor de seguridad mínimo es de 2.6 (250 / 96). Lo que permite concluir que este componente cumple con lo requerido por la norma. Teniendo en cuenta la sobrecarga de 1.76, el factor de seguridad real final esperado es de 4.58 (2.6*1.76).

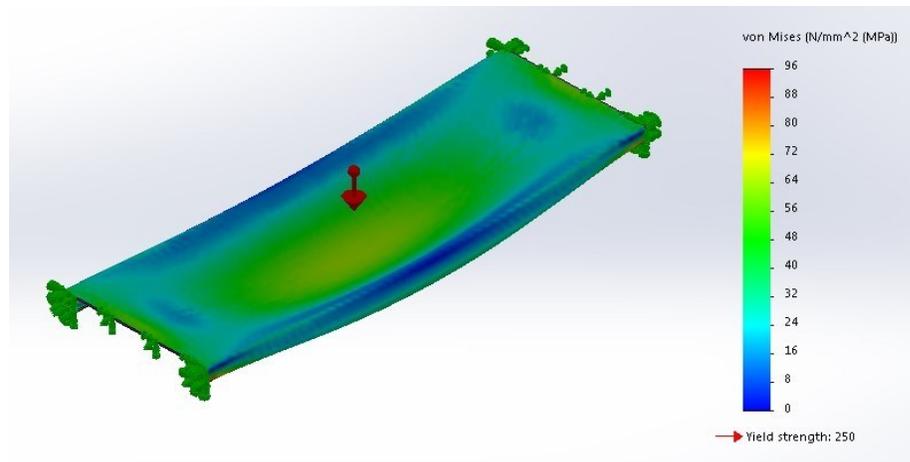


Figura 35. Nivel de esfuerzos generados en un peldaño de la escalera por una carga distribuida de 300 kg

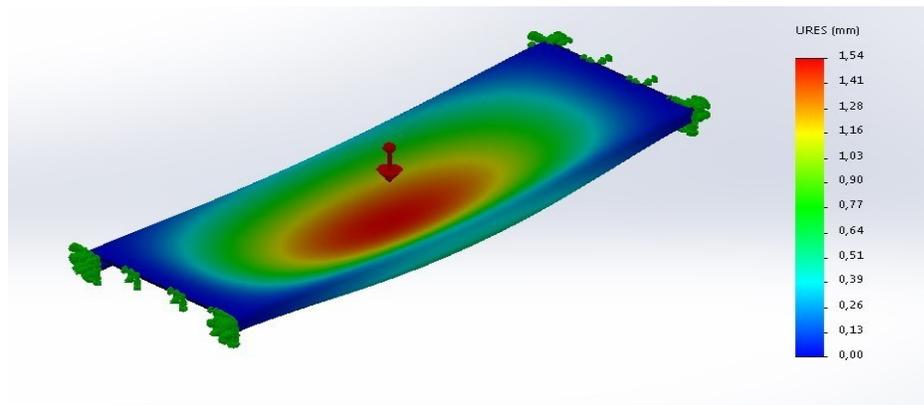


Figura 36. Desplazamiento en milímetros que el peldaño experimenta por la carga distribuida de 300 kg

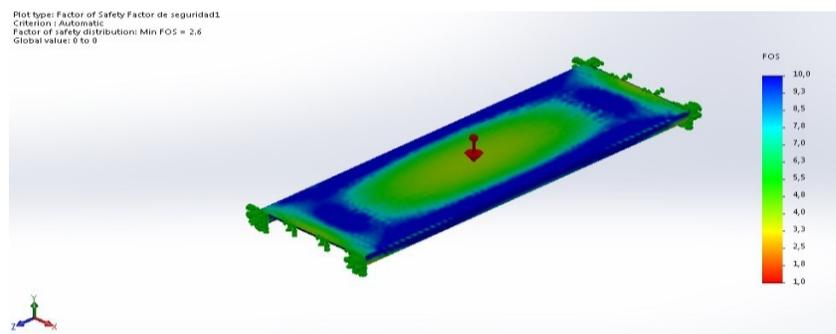
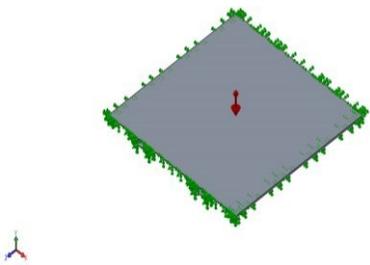


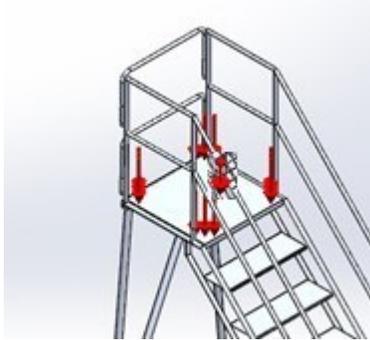
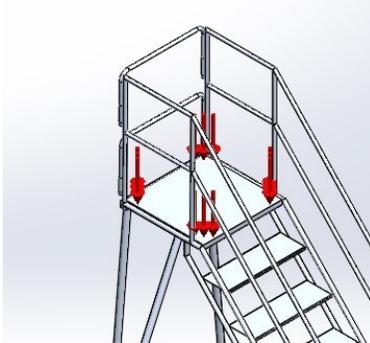
Figura 37. Distribución mínima del factor de seguridad de 2,6 en el peldaño de la escalera por una carga distribuida de 300 kg

4.5.3. Análisis de la resistencia de la lámina de la plataforma donde se ubica el trabajador.

Se realiza un análisis ubicando ahora la carga sobre la lámina de la plataforma, en este caso se posiciona toda la carga generada por los 300 kg en la zona de la plataforma de trabajo, de igual manera se revisa su comportamiento de resistencia estructural con la carga distribuida. La tabla 6 define los datos para realizar la simulación de esfuerzos y deformaciones en Solidworks.

Tabla 7. Condiciones de cargas y sujeciones aplicados al modelo 3D de plataforma

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo al piso		Tipo: Geometría fija a los extremos

Nombre de carga	Imagen de cargas	Detalles de carga
Gravedad		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: SI
Masa distribuida- 300 kg sobre plataforma		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa) Sistema de Coordenadas coordenadas: cartesianas globales Masa remota: 300 kg Momento de 0,0,0,0,0,0 inercia: kg.m ²

Como resultado de las simulaciones usando el software de análisis de elementos finitos se obtienen los siguientes resultados. Esfuerzo von mises máximo de 225.6 MPa, deformación máxima de 0.5 mm y factor de seguridad de 1.14. teniendo en cuenta el factor de sobrecarga de 1.76, se tiene que el valor final del factor de seguridad esperado es de 2.01, con lo cual se cumple con el requerimiento de seguridad de la norma que define un valor mínimo de 2.

Las figuras 38, 39 y 40 presentan visualmente los resultados obtenidos para la plataforma de trabajo de la escalera ETA.

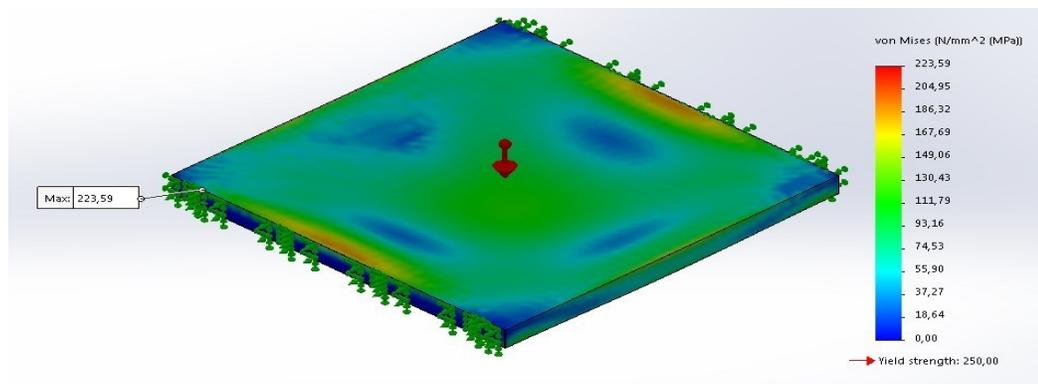


Figura 38. Niveles de esfuerzo generados en la lámina de la plataforma de la escalera como resultado de la aplicación de una carga distribuida de 300 kg

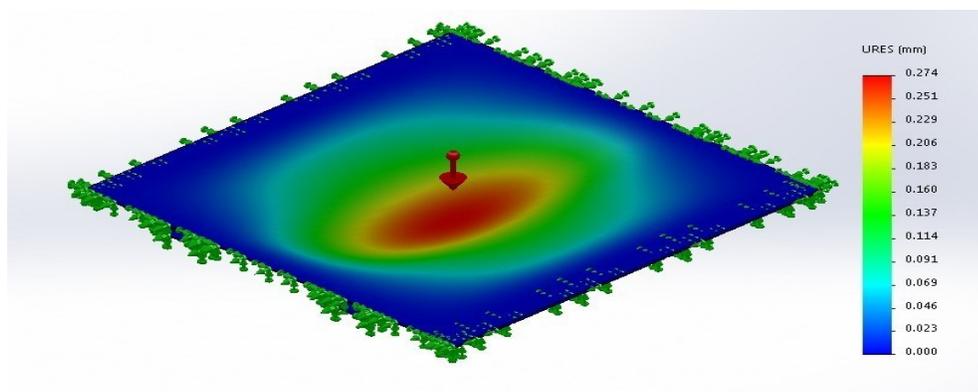


Figura 39. Desplazamientos generados en la lámina de la plataforma de la escalera a causa de la aplicación de una carga distribuida de 300 kg

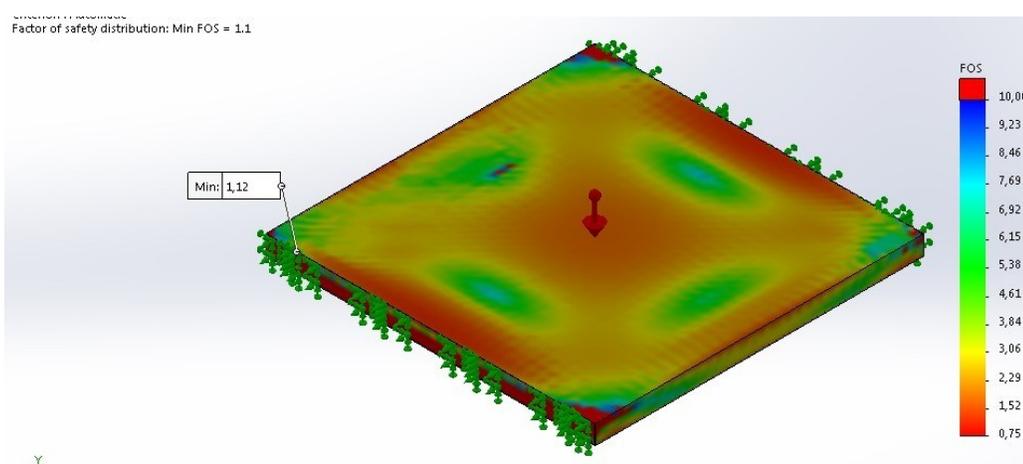


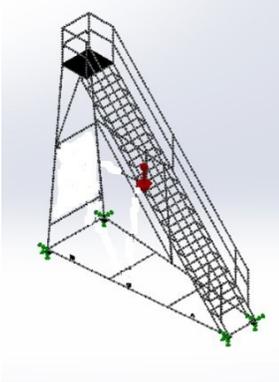
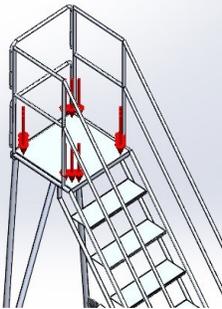
Figura 40. Distribución del Factor seguridad mínimo 1,12 en la lámina de la plataforma de la escalera a causa de la aplicación de una carga distribuida de 300 kg

Cualquier peldaño de la escalera, así como la plataforma tienen un comportamiento del material que soporta la carga máxima aplicada. Ahora se realiza el estudio estructural de toda la escalera como un conjunto, ubicando cargas en la plataforma y en el peldaño de manera simultánea para llevarla a la condición más crítica. Continuando con los análisis ahora se evalúa la condición en la cual la carga de 300 kg aplicada sobre la escalera se encuentra en la plataforma de 700 mm por 700 mm, así se analiza el comportamiento de resistencia estructural de toda la escalera.

La tabla 8 presenta los datos para realizar esta simulación computacional mediante Solidworks.

Tabla 8. Condiciones de cargas y sujeciones aplicadas al modelo 3D de la escalera

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo al piso	 A 3D wireframe model of a staircase. The base of the staircase is fixed to a horizontal plane, indicated by green arrows pointing outwards from the base, representing fixed boundary conditions.	Tipo: Geometría fija al piso en las ruedas

Nombre de carga	Imagen de cargas	Detalles de carga
Gravedad		<p>Referencia: Planta</p> <p>Valores: 0 0 -9.81</p> <p>Unidades: SI</p>
Masa distribuida- 300 kg en la plataforma		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa)</p> <p>Sistema de Coordenadas coordenadas: cartesianas globales</p> <p>Traslación Valores: ---, ---, --- mm</p> <p>Rotación Valores: ---, ---, --- deg</p> <p>Masa remota: 300 kg</p>

Las figuras 41 y 42 presentan los resultados de esfuerzos von mises y deformaciones en milímetros para la escalera como un conjunto.

De este análisis se puede concluir que a una masa de 300 kg aplicados de manera distribuida sobre la lámina metálica de la plataforma produce esfuerzos con valores máximos de 2,8 MPa sobre todo el conjunto de la estructura de la escalera, principalmente tienden a sufrir más de deflexión los elementos tubulares largos generados por la carga, de esta manera es la tendencia a deformarse el marco de la escalera, pero el nivel de esfuerzos es inferior al esfuerzo de fluencia del material el cual es de 250 MPa, por lo tanto no habrá deformaciones permanentes y será seguro para que las personas puedan subir, bajar y trabajar haciendo uso de la escalera tipo avión abatible.

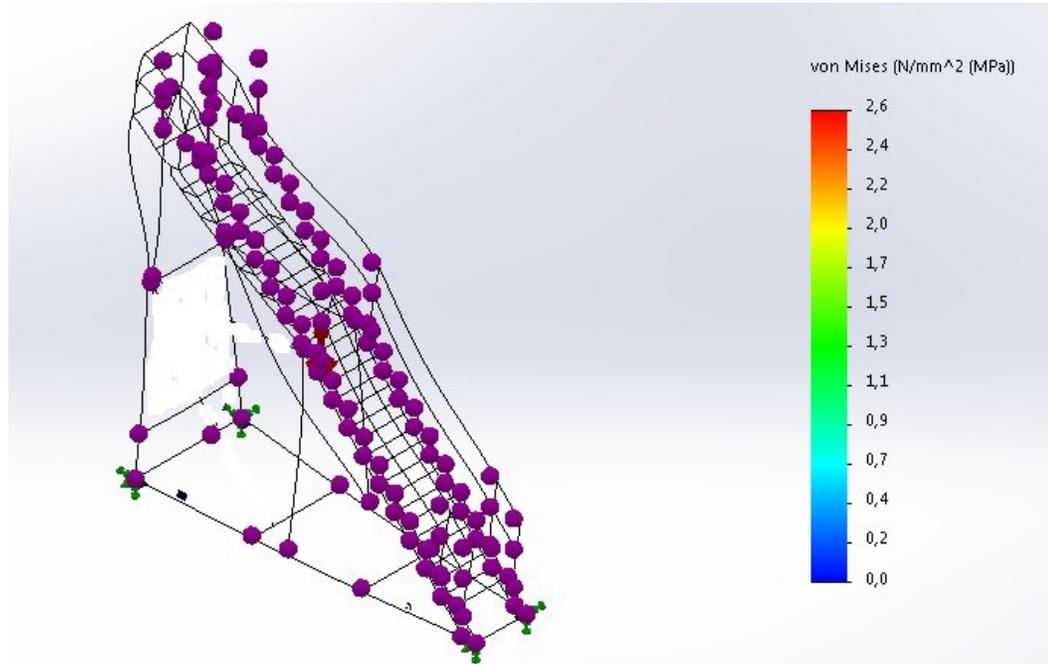


Figura 41. Nivel de esfuerzo presentado en la escalera debido a carga aplicada de 300 kg en la plataforma

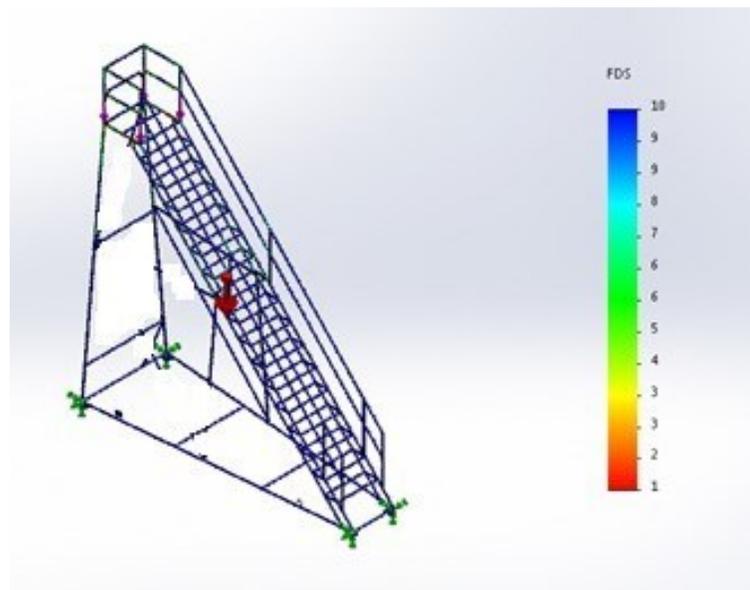


Figura 42. Factor de seguridad de la escalera debido a carga aplicada de 300 kg sobre la plataforma

Los desplazamientos que se generan en los perfiles no superan los 2,94 milímetros, se debe tener en cuenta que la imagen está con una escala de deformación agrandada de 200.109 para poder apreciar de manera notoria estos desplazamientos producto de la deformación del material. Al analizar la distribución del factor de seguridad obtenemos un valor mínimo de 1.8, siendo los puntos más críticos los tornillos que unen los elementos conectores transversales tubulares. Sin embargo, al ajustar por el factor de sobrecarga de 1.76, el factor real de seguridad esperado es de 3.168 ($1.8 \cdot 1.76$).

El análisis de los resultados de esfuerzos, desplazamientos y factores de seguridad, tanto de los componentes principales analizados individualmente, así como de la escalera evaluada como una estructura monolítica, muestra que se cumple con un factor de seguridad siempre mayor a 2 que es el valor mínimo especificado por la norma para la relación entre resistencia de fluencia y esfuerzo máximo de von mises. Por lo tanto, el producto propuesto de escalera ETA abatible cumple con los requerimientos de funcionalidad y confiabilidad planteados al inicio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de grado, se concluye lo siguiente:

- Se desarrolla una propuesta de diseño para una escalera ETA abatible de accionamiento manual, basada en un mecanismo de 5 eslabones con 2 conjuntos de barras tipo deslizante. Como mecanismo el $gdl = 1$ y para pasarlo a estructura de carga se fija entre si dos pares de eslabones deslizantes, quedando una estructura estáticamente determinada tipo triangulo con $gdl = 0$.
- Se elabora un modelo CAD de la escalera abatible en ambiente Solidworks, mediante el cual se estiman esfuerzos y deformaciones de componentes críticos de la escalera, como. Peldaños, plataforma de carga y bases de soporte, obteniendo en todos los casos factores de seguridad mayor a 2, cumpliendo lo requerido por la norma NTC 4145. Las deformaciones máximas son de 1,5 milímetros.
- Al evaluar la escalera como estructura de carga con valor máximo de 300 kg o 2946 N, se obtienen esfuerzos máximos de 26 MPa, lo cual define un factor de seguridad de 9,8 mayor a lo requerido por la norma.
- El peso máximo estimado de la escalera es de 200 kg, requiriendo unas 4 personas para colocarla en posición de operación desde el estado de reposo recogida y 2 personas para movilizar de un sitio a otro en terreno plano.
- Al comparar los resultados manuales con los correspondientes obtenidos por el software Solidworks, se observan resultados similares. visualmente las gráficas del software permiten comprender donde están los puntos críticos o concentradores de esfuerzo en el diseño.

- Para finalizar el mecanismo del modelo 3D del diseño innovador de la escalera cumple a cabalidad con lo solicitado por los requisitos de entrada al diseño y da respuesta a la pregunta de la hipótesis: ¿Cómo es el diseño de una escalera de plataforma ETA abatible basada en normas de seguridad para brindar bienestar al usuario para alcanzar una altura de 5 metros?, al final queda definido ese diseño el cual puede pasar a etapa de fabricación.

5.2. Recomendaciones.

Una vez realizado todo el proceso y como parte de la continuidad con este tipo de proyectos se recomienda:

1. Un aspecto que se puede implementar en el proyecto siempre y cuando no existan restricciones del presupuesto, es poder colocar cilindros neumáticos que permitan realizar el movimiento del mecanismo corredera manivela para abrir y cerrar la escalera de manera automática y así se puede reducir la cantidad de personas que se requieren para activar el mecanismo.
2. También otra consideración importante volver a realizar los cálculos seleccionando como material de la escalera el aluminio en vez del acero, así disminuyen los 200 kg de masa de la escalera y de esta manera las condiciones de fuerza serán menores y la masa total de la escalera también sería menor, calculando nuevamente cuantas personas se necesitan para mover el mecanismo se la escalera es de ese nuevo material.
3. Otros puntos críticos de la escalera se pueden seguir evaluando como por ejemplo las uniones con pasador y tornillería, pero llegar a realizarlos todos

genera un mayor trabajo y tiempo limitado en el contenido para el alcance de este proyecto de grado, por esto se recomiendan que se puedan seguir haciendo mejoras al producto ya obtenido y aplicar los conceptos de diseño mecánico para obtener excelentes resultados.

4. El diseño de la escalera es de altura fija. Para mejorar el producto puede rediseñarse para obtener un rango ajustable de altura y poder competir con equipos costosos en el mercado como los llamados man – lift.

5. Como etapa final se recomienda realizar un análisis de costos de fabricación del modelo de la escalera con los dos materiales acero y aluminio para ver cuál es más rentable y que ambas cuenten con cilindros neumáticos, que de seguro los cilindros de la escalera en aluminio serán de menor capacidad que los de la escalera en acero. Incluso se pueden seleccionar también otro tipo de elementos estructurales como tubos de sección rectangular o cuadrado disponibles en el mercado y ver como varían los resultados.

Anexo 1: Propiedades mecánicas del acero ASTM A-53 GRADO A

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO

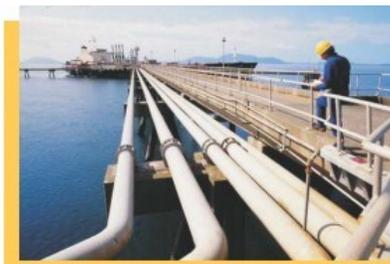
	GRADO A	GRADO B
Esfuerzo de fluencia: psi (min)	30.000	35.000
Esfuerzo de tensión: psi (min)	48.000	60.000
Porcentaje de elongación	20% en promedio	26%.Promedio

TERMINADO INTERIOR

Los tubos se burilan interiormente en diámetros mayores a 1" acabado de la superficie interior es razonablemente liso.

PRUEBAS

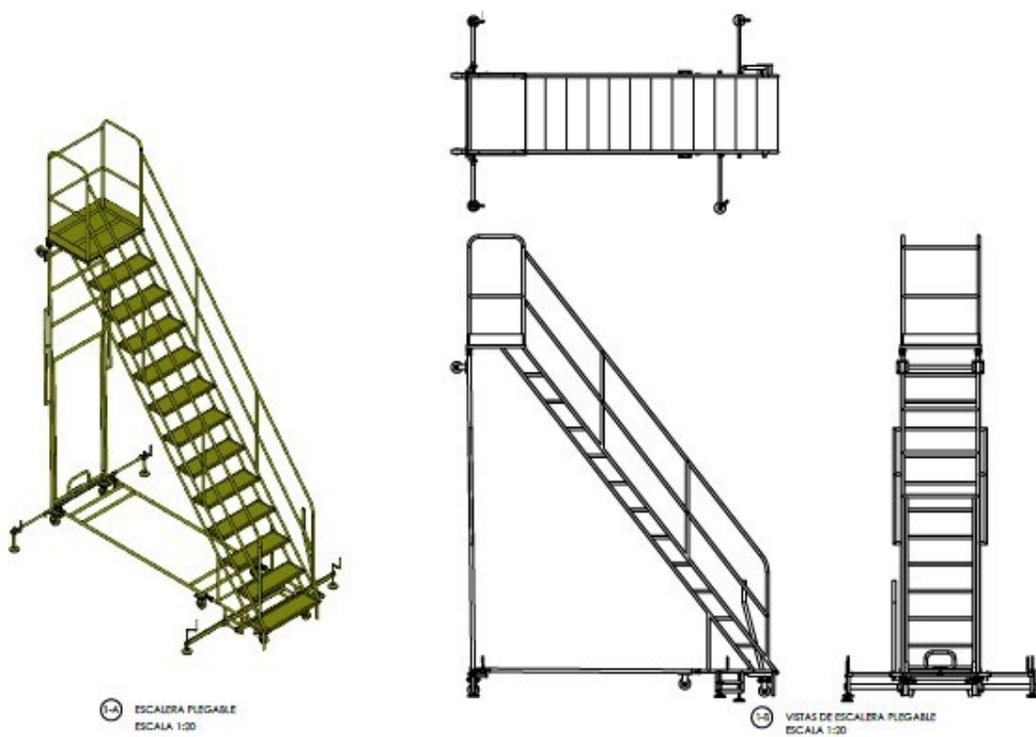
Prueba NDT:	Según norma ASTM-53 (NTC-3470)
Prueba hidrostática:	Según norma ASTM-53 (NTC-3470)
Prueba neumática	A presión de 100 psi por tubos de Φ 2½" e inferiores
Prueba de aplastamiento	Según norma ASTM-53 (NTC-3470)
Prueba de abocardado	Según norma NTC-103
Prueba de doblez	Según norma ASTM-53 (NTC-3470)



GALVANIZACIÓN

Para tubos de NPS 6 e inferiores se realiza por inmersión en caliente según la norma ASTM A-53, garantizando un recubrimiento uniforme de zinc tanto inferior como exterior, cuyo peso promedio es de 0,55 kg/m². La calidad del zinc para el revestimiento se garantiza según la norma ASTM B6 SHG (Special High Grade).

Anexo 2: Vistas generales de los planos de la escalera



Bibliografía

- Bathe, K.-J. (2016). *Introduction to Finite Element Analysis (FEA) or Finite Element Method (FEM) Finite Element Analysis (FEA) or Finite Element Method (FEM)*. 1065.
http://web.mit.edu/kjb/www/Books/FEP_2nd_Edition_4th_Printing.pdf
- Budianto, Wahyudi, M. T., Dinata, U., Ruddianto, & Eko, M. M. P. (2018). Strength Analysis on Ship Ladder Using Finite Element Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012043>
- Cutting, T., & Spraying, T. (2001). *Standard Welding Terms and Definitions Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying*.
https://pubs.aws.org/Download_PDFS/a3.0-2001PV.pdf
- De, L. (2001). *Conoce los procesos de soldadura y unión*. 2, 46–47.
- Douglas, A., & Monel, M. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica. *Diseño En Ingeniería Mecánica*, 257–278.
- Escacena Ventura, J. M. (2010). Caracterización de las propiedades mecánicas del aluminio. *Caracterización de Las Propiedades Mecánicas Del Aluminio 7075-T651*, 3–8.
- Industrial, E. (2016). *Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales Diseño de una estructura universal para el montaje de plataformas modulares en el ensamblaje de aeronaves . Autor : Francesc González Rodríguez Director : Emilio Angulo Navarro Escola Tècnica Superior d ' En*.
- Kim, K., & Steinfeld, E. (2016). An evaluation of stairway designs featured in architectural record between 2000 and 2012. *Archnet-IJAR*, 10(1), 96–112.
<https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v10i1.844>
- Martínez Escanaverino, J. (1997). Algorítmica del diseño mecánico. *Ingeniería Mecánica*, 0(0), 31–37.
- Ocampo Battle, E., Arrieta Romero, J., Fábregas Villegas, J., Villa Dominguez, J., Quesada Tatis, F. J., & Unfried Silgado, J. (2016). Análisis De Deformaciones En Un Dispositivo Electromecánico Para Medición De Fuerzas Del Proceso

- De Soldadura Por Fricción-Agitación Realizado En Fresadora Universal. *Prospectiva*, 14(2), 36. <https://doi.org/10.15665/rp.v14i2.749>
- OSH Standards. (1974). *Occupational Safety and Health Standards*, 29 C.F.R. Part 1910. 52(153), 29620–29657.
- P, G. G. (1984). Un proceso general de diseño en Ingeniería Mecánica. *Revista Ingeniería e Investigación*, 10, 35–43.
- Pachón, D., & Vargas, D. (2016). *Comparación de las muertes accidentales por caída en alturas con ocasión al trabajo antes y después de la aplicabilidad de la resolución 3673 del 2008 durante los años 2004-2013*. 1–86.
- Salud, S. Y., & El, P. (n.d.). *Escaleras portátiles*.
- Sevilla, A., Plan, I., Garc, R., Garc, G. A., & Nbe-ae-, O. M. V. (2000). *Escaleras y rampas 1*.
- Sura. (2003). Guía de Seguridad para Escaleras. *Arl Sura*.
- United, T. H. E., & Of, S. (1997). By Authority Of. *ASTM E695:Standard Method of Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to Impact Loading*, 552(1), 203.
- Wilches Balseiro, J. (2011). La fatiga: Principal causa de falla de los elementos mecánicos. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 0(1), 48–50.

Trabajos citados

Arco, W. (2015). *Manual de Soldadura*. Bogota: ESAB.

Ariza, M. (2008). *Diseño de plataforma para mantenimiento de aeronaves*. Bogota, Colombia: Universidad de San Buenaventura.

Cary, H. (1992). *Manual de Soldadura Moderna*. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Escaleras de Colombia. (2020). *Empresa privada*. Obtenido de sitio web: <https://escalerasdecolombia.com/producto/escalera-tipo-avion-en-acero/>

Manlift, I. (2020). *Empresa privada*. Obtenido de Sitio web: <https://www.industrialmanlifts.com/product/aircraft-utility-maintenance-platform/>

Morato, R. (2012). Tesis. *Análisis de los procesos de soldadura en cuatro empresa*. Bogota, Colombia: Universidad Libre.