



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ESTUDIO NUMÉRICO Y EXPERIMENTAL DE ACCESOS AL MEDIO FÍSICO ADAPTABLES PARA POBLACIÓN CON MOVILIDAD REDUCIDA.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

HEREDIA ALOMOTO SHIRLEY JAZMIN  
shirley.heredia@epn.edu.ec

TAFUR OSORIO DIEGO ARMANDO  
diego.tafur@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. HIDALGO DÍAZ VÍCTOR HUGO, D.Sc  
victor.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2021

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **SHIRLEY JAZMIN HEREDIA ALOMOTO** y **DIEGO ARMANDO TAFUR OSORIO**, bajo mi supervisión.

---

ING. HIDALGO DÍAZ VÍCTOR HUGO, D.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **SHIRLEY JAZMIN HEREDIA ALOMOTO** y **DIEGO ARMANDO TAFUR OSORIO**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Shirley Heredia

---

Diego Tafur

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación lo dedico a mi madre Jeanneth, porque no lo hubiera logrado sin su apoyo, paciencia, amor puro e incondicional. Sin duda, es la persona más influyente en mi vida y a la que más admiro. Quiero recordarle que todos mis logros son y serán siempre para ella.

Shirley Heredia

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a la persona que más admiro en este mundo, Gloria, quien no solo fue mi abuelita sino mi madre, la persona que supo darme todo en este mundo en medida de sus posibilidades y la que se esmeró día tras día para que hoy puedo culminar esta etapa de mi vida. A Armando que ha sido mi abuelito y figura paterna, le agradezco por todo lo que me ha enseñado y por el apoyo incondicional que ha mostrado hacia mí.

Diego Tafur

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre por haber estado siempre junto a mí, en mis buenos, malos y peores momentos, por amarme sin juzgarme, por siempre creer en mí, por aplaudir cada uno de mis logros. Gracias mamita por no solamente haberme ayudado de manera económica si no por ser la mejor compañera y amiga que estuvo presente durante este importante ciclo de mi vida,

A Daniel Heredia y a Henry Heredia por enseñarme el significado del perdón y el de las nuevas oportunidades. Fue un gran aporte para mi crecimiento personal y profesional.

A mi alma máter, la prestigiosa Facultad de Ingeniería Mecánica y a todos quienes fueron mis maestros por haberme formado y haber sembrado en mí el amor a mi carrera.

A mis ángeles en el cielo por enseñarme el significado de la fortaleza y el amor eterno (Abuelita, Ñaño Pedro) y de forma especial a quien fue mi soporte emocional, Alvin, ya que por 9 años su compañía me dio la fuerza mental para cursar mi carrera universitaria, a todos los llevo siempre en mí.

A mi tío Ángel por haberme amado y apoyado a pesar de todo,

A mi primo Fernando por las charlas y enseñanzas, por siempre motivarme y ser ejemplo de superación.

A María Fernanda por ser ejemplo de fuerza voluntad y valentía, gracias por todos tus consejos y conversaciones nocturnas. Te admiro y agradezco por siempre alegrarte por mi y por cuidarme de forma incondicional.

A Michael, Zoe y Patito por ser los mejores hermanos menores y apoyo de forma anímica durante esta etapa.

A mi familia de Guayaquil, Jazmín, por su solidaridad incondicional y tratarme como una hija más. Tía Yecenia, Samuel, Katuska, y Natasha por todos sus cuidados y acompañamiento.

A Roberto Torres y Christian Torres por haber tenido la plena confianza en mí y ser mi piedra angular para poder manejar mi propio negocio y aprender tanto del ámbito profesional.

Agradezco de forma general a mis amigos y a cada uno de los que han aportado de alguna manera para que yo logre cumplir esta meta.

Shirley Heredia

## **AGRADECIMIENTO**

A mis abuelitos, que no fueron solo eso, sino que fueron mis padres, son ellos a quienes llevo presentes en todo momento, dueños de todo mi amor.

A mi familia, especialmente a Pamela, crecimos juntos y eres como mi hermana mayor, gracias por todo el apoyo.

A Alfredo, siempre estuviste y estás presente para brindarnos tu apoyo y ayuda.

A mi amigo Robert, gracias por haber confiado en mí, sin tu ayuda esto tal vez no hubiera sido posible.

A mis amigos gracias por su amistad y colaboración.

Y al último, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí mismo por no haberme rendido y haber dado más de lo que he recibido, por ser yo mismo y por haber tratado de hacer más bien que mal.

Diego Tafur

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## Contenido

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Accesibilidad universal.....	5
1.2. Cadena de accesibilidad.....	5
1.3. Criterios DALCO.....	5
1.3.1. Deambulaci3n.....	6
1.3.2. Aprehensi3n.....	6
1.3.3. Localizaci3n.....	6
1.3.4. Comunicaci3n.....	6
1.4. Discapacidad.....	6



1.5. Sistema de transporte .....	7
1.6. Tipos de accesos para personas con dificultad de movilidad .....	7
1.6.1. Rampa. ....	7
1.6.2. Escaleras. ....	8
1.7. Accesos para personas con movilidad reducida a nivel internacional .....	9
1.8. Innovación en diseño para edificaciones.....	10
1.9. Sistemas hidráulicos .....	11
1.9.1. Componentes de los sistemas hidráulicos .....	11
1.10. Sistemas electrónicos .....	12
1.11. Sistemas mecánicos .....	13
1.11.1. Características de los sistemas mecánicos.....	14
1.11.2. Elementos de un sistema mecánico .....	15
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. Desarrollo de la función de la calidad (QFD).....	18
2.2. Casa de calidad .....	19
2.3. Especificaciones técnicas .....	21
2.4. Análisis funcional .....	23
2.5. Generación de módulos .....	25
2.6. Criterios técnicos para la evaluación de las alternativas de solución.....	25
2.6.1. Evaluación del peso específico de cada criterio .....	26
2.6.2. Alternativas de solución para el módulo 1 .....	28
2.6.3. Alternativas de solución para el módulo 2.....	31
2.6.4. Alternativas de solución para el módulo 3.....	32
2.7. Diseño Preliminar.....	32

2.7.1. Criterios iniciales de diseño.....	32
2.7.2. Distribución de las fuerzas en la plataforma.....	33
2.7.3. Cálculo de las fuerzas de enlace en las barras, diagrama de sólido libre.....	34
2.7.4 Diagrama de esfuerzo de la plataforma, estado de extensión.....	43
2.7.5 Diagrama de esfuerzo de la plataforma, estado replegada.....	45
2.7.6. Diagrama de esfuerzos de las barras más solicitadas, estado de extensió.....	46
2.7.7. Diagrama de esfuerzos de las barras más solicitadas, estado replegada.....	50
2.7.8. Cálculo de la sección de las barras.....	52
2.7.9. Material de las barras.....	55
2.7.10. Elección del coeficiente de seguridad.....	56
2.7.11. Dimensionamiento del cilindro hidráulico.....	58
2.7.12. Selección de la bomba hidráulica.....	63
2.7.13. Estructura de escaleras retráctiles.....	64
2.7.14. Mecanismo motriz de escaleras retráctiles.....	66
2.7.15. Acoplamiento mecatrónico.....	69
2.8. Construcción del prototipo.....	70
2.8.1. Controlador para el prototipo.....	74
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	76
3.1 Análisis del prototipo.....	76
3.2. Análisis de costos de construcción.....	77
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

ANEXOS.....84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas .....	22
Tabla 2.2. Descripción de las interfases para función global del sistema de acceso. ....	24
Tabla 2.3. Criterios para la evaluación de alternativas. ....	26
Tabla 2.4 Descripción de la asignación de valores para las evaluaciones de cada criterio. ..	27
Tabla 2.5 Resultados del método de criterios ponderados. ....	27
Tabla 2.6. Evaluación de cada criterio para el módulo 1. ....	29
Tabla 2.7. Evaluación de soluciones, criterio Dimensiones. ....	29
Tabla 2.8. Evaluación de soluciones, criterio Materiales. ....	30
Tabla 2.9. Evaluación de soluciones, criterio Energía. ....	30
Tabla 2.10. Evaluación de soluciones, criterio Vida útil y mantenimiento. ....	30
Tabla 2.11. Conclusión de evaluación. ....	31
Tabla 2.12. Resultados de programa EES. ....	38
Tabla 2.13 Resultados de programa EES. ....	42
Tabla 2.14 Comparación de esfuerzos entre estados. ....	54
Tabla 2.15 Comparación de esfuerzos entre estados. ....	54
Tabla 2.16. Comparación de esfuerzos entre estados. ....	55
Tabla 2.17. Factor de carrera cilindros hidráulicos. ....	60
Tabla 2.18. Modelos de bombas hidráulicas según presión de avance. ....	64
Tabla 3.1. Costo de los materiales normalizados. ....	77
Tabla 3.2. Costos de mano de obra. ....	78
Tabla 3.3. Costo total de fabricación e instalación .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Especificaciones para rampas. ....	7
Figura 1.2. Escaleras en sucesiones. ....	9
Figura 1.3. Sistemas electrónicos. ....	12
Figura 1.4. Tipos de señales electrónicas. ....	13
Figura 2.1. Metodología general. ....	17
Figura 2.2. Esquema general del desarrollo de la función de calidad. ....	18
Figura 2.3. Gráfico de la casa de la calidad. ....	20
Figura 2.4. Diagrama funcional nivel 0. ....	23
Figura 2.5. Diagrama funcional nivel uno. ....	24
Figura 2.6. Alternativa 1 módulo 1. ....	28
Figura 2.7. Alternativa 2 módulo 1. ....	28
Figura 2.8. Solución a modulo 2. ....	31
Figura 2.9. Vista de la plataforma de tijeras en estado replegada. ....	32
Figura 2.10. Disposición de cargas en la plataforma. ....	33
Figura 2.11. Medidas de la estructura en extensión. ....	34
Figura 2.12. Distribución de fuerzas en plataforma. ....	35
Figura 2.13. Equilibrio global de la estructura. ....	37
Figura 2.14. Diagrama de sólido libre en extensión. ....	39
Figura 2.15. Distribución de fuerzas, estructura replegada. ....	40
Figura 2.16. Equilibrio global de la estructura replegada. ....	40
Figura 2.17. Diagrama de solido libre, estructura replegada. ....	42
Figura 2.18. Plataforma de trabajo en extensión. ....	43
Figura 2.19. Diagrama de cuerpo libre de plataforma, estructura extendida. ....	44
Figura 2.20. Esfuerzos cortantes en plataforma, estructura extendida. ....	44
Figura 2.21. Momento flector en plataforma, estructura extendida. ....	44
Figura 2.22. Diagrama de cuerpo libre de plataforma replegada. ....	45
Figura 2.23. Esfuerzos cortantes en plataforma replegada. ....	45
Figura 2.24. Momento flector en plataforma replegada. ....	46
Figura 2.25. Barras más solicitadas en plataforma extendida. ....	46
Figura 2.26. Esfuerzos axiales en barra b, plataforma extendida. ....	47
Figura 2.27. Esfuerzos cortantes en barra b, plataforma extendida. ....	47

Figura 2.28. Momento flector en barra b, plataforma extendida. ....	48
Figura 2.29. Esfuerzos axiales en barra d, plataforma extendida. ....	49
Figura 2.30. Esfuerzos cortantes en barra d, plataforma extendida. ....	49
Figura 2.31. Momento flector en barra d, plataforma extendida. ....	50
Figura 2.32. Barras más solicitadas, estructura replegada.....	50
Figura 2.33. Esfuerzos axiales en barra b, estructura replegada. ....	51
Figura 2.34. Esfuerzos cortantes en barra b, estructura replegada. ....	51
Figura 2.35. Momento flector en barra b, estructura replegada.....	51
Figura 2.36. Esfuerzos en la sección de barras. ....	52
Figura 2.37. Representación de la plataforma de trabajo en MD Solids.....	53
Figura 2.38. Características mecánicas de acero ASTM-A1011-340 .....	56
Figura 2.39. Coeficientes de seguridad en cálculos estáticos. ....	56
Figura 2.40. Perfiles huecos rectangulares. ....	57
Figura 2.41. Cilindro hidráulico de simple efecto.....	58
Figura 2.42. Características de bomba hidráulica, Genie GS-1530.....	59
Figura 2.43. Cruce normalizado entre diámetros de pistón y vástago. ....	60
Figura 2.44. Diámetros normalizados de vástagos. ....	62
Figura 2.45. Características de acero AISI-1045.....	63
Figura 2.46. Bombas de desplazamiento. (A) controlada mecánicamente y (B) controlada hidráulicamente .....	63
Figura 2.47. Estructura de escalón superior.....	65
Figura 2.48. Diagrama de fuerzas escalón superior.....	65
Figura 2.49. Mecanismo motriz de escaleras retractiles.....	66
Figura 2.50. Sketch de acoplamiento mecatrónico.....	70
Figura 2.51. Botón y luz piloto.....	70
Figura 2.52. Prototipo final construido.....	72
Figura 2.53. Acoplamiento del motor a pasos con el tornillo sin fin. ....	73
Figura 2.54. Acoplamiento de los escalones.....	73
Figura 2.55. Barrera de seguridad unida al servomotor .....	74
Figura 2.56. Diagrama de conexiones .....	75

## RESUMEN

En el Ecuador existe un porcentaje alto de personas con movilidad reducida, a su vez también podemos corroborar que gran parte de las construcciones no disponen de las adaptaciones elementales para la población con estas necesidades, para lo cual se realizó un estudio numérico y experimental de un acceso para el medio físico, que puede ser adecuado en exteriores e interiores y que para su uso no se tiene la necesidad de un acompañante. La solución fue planteada utilizando diseño concurrente, evaluando las siguientes especificaciones técnicas: capacidad, dimensiones, materiales, energía, vida útil, mantenimiento y ergonomía. El análisis numérico se realizó mediante los softwares MDSolids, MEFI (Método de elementos finitos), SolidWorks y ESS, a partir de estos análisis y resultados se diseñó un prototipo que cumple con todas las normas, además de ser adaptable, y fiable para los usuarios. El costo de construcción de la solución planteada es viable respecto al beneficio que este representa.

**Palabras clave:** Acceso al medio físico, movilidad reducida, diseño concurrente, análisis numérico.

## ABSTRACT

In Ecuador there is a high percentage of people with reduced mobility, in turn we can also corroborate that a large part of the buildings do not have the elementary adaptations for the population with these needs, for which a numerical and experimental study of a access to the physical environment, which can be suitable indoors and outdoors and does not require a companion for its use. The solution was proposed using concurrent design, evaluating the following technical specifications: capacity, dimensions, materials, energy, useful life, maintenance and ergonomics. The numerical analysis was carried out using the MDSolids, MEFI (Finite Element Method), SolidWorks and ESS software, based on these analyzes and results, a prototype was designed that meets all the standards, as well as being adaptable and reliable for users. The cost of construction of the proposed solution is viable with respect to the benefit that it represents.

**Keywords:** Access to the physical environment, reduced mobility, concurrent design, numerical analysis.



## INTRODUCCIÓN

Dentro del territorio nacional, Ecuador, existe un gran porcentaje de personas con discapacidad, según estadísticas presentadas por la CONADIS, hay registradas un total de 471.072 de personas con algún tipo de discapacidad, de las cuales el 45,72% de esta población padece de una discapacidad física, esto representa un gran número de individuos dentro del país, adicional a esto tenemos que tener en cuenta que el porcentaje es mucho mayor, ya que un gran número de personas con discapacidades no se encuentran registradas en la CONADIS. (CONADIS, 2021)

En Ecuador existen normativas INEN las cuales tienen como principal objetivo dar accesibilidad y un diseño correcto para toda la población, cuya aplicación en el entorno da lugar a que las personas con algún tipo de discapacidad física puedan utilizarlo.

Lamentablemente estas normativas son ineficaces, ya que son muy pocos los lugares que cumplen a cabalidad con lo establecido por la ley, lo cual genera un problema de índole social, ya que al no respetar las normativas INEN como tal, no se están respetando a las personas con discapacidad y se les están vulnerando sus derechos, esto se puede evidenciar a través de los medios de comunicación locales.

Como por ejemplo el titular del diario expreso “El derecho a la accesibilidad inclusiva se queda en papel”, en el cual se hace énfasis a la falta de empatía que existe hacia las personas que tienen discapacidades físicas lo que les ocasiona movilidad reducida, esto deja al descubierto la necesidad latente de mecanismos adaptables a cualquier estructura tanto en exteriores e interiores que permitan la accesibilidad al entorno y medio físico. (El Expreso, 2019)

Daremos conceptualizaciones concretas y concisas de varios términos como la deambulación, aprehensión, localización, comunicación y discapacidad, con la finalidad de estructurar una base clara para la realización del estudio numérico y experimental de accesos al medio físico para personas con movilidad reducida.

La finalidad que tenemos con el proyecto presentado es buscar e incentivar la inclusión social de estas personas con discapacidad física, proporcionando un acceso que se adecue a sus necesidades como: adaptabilidad a cualquier edificación tanto para interiores y exteriores, seguro, de fácil operación y larga vida útil, por lo que es fundamental realizar un análisis numérico para comprobar su correcto funcionamiento y que cumpla con los criterios iniciales de diseño, lo que a su vez nos garantizará que se cumplan estas demandas para el posterior diseño y construcción del prototipo. Adicional se pretende hacer un análisis de costos para establecer la viabilidad de este proyecto.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo General**

Realizar un estudio numérico y experimental de accesos al medio físico adaptables para población con movilidad reducida por medio de un prototipo.

## **Objetivos Específicos**

- Revisar el estado del arte con respecto a los sistemas de acceso para población con movilidad reducida.
- Plantear soluciones teniendo en cuenta los parámetros necesarios que garanticen la funcionalidad de cada uno de los sistemas de acceso.
- Realizar el diseño de los diferentes accesos.
- Estudiar mediante un método numérico el comportamiento de cada uno de los accesos planteados.
- Realizar un estudio paramétrico de las opciones para entender el comportamiento de cada acceso
- Realizar el diseño de un prototipo en el que se incorporen los resultados del estudio paramétrico.
- Construir un prototipo a escala que permita ejecutar un estudio buscando definir las características de funcionamiento óptimas para que el acceso consiga un nivel de maduración tecnológico de 5.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Accesibilidad universal**

Para poder entender de una manera correcta lo que es la accesibilidad universal, detallaremos el concepto dado por el diccionario panhispánico del español jurídico, en base al termino, “Condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos, instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible” (Diccionario panhispánico del español jurídico, 2020)

Podemos entender que por accesibilidad universal se garantiza la adecuación de los entornos dentro de la sociedad para todas las personas, respetando de esta manera los derechos de igualdad de las personas con discapacidades físicas, movilidad reducida.

## **1.2. Cadena de accesibilidad**

Esta definición va de la mano con el concepto de la accesibilidad universal, entendiendo por cadena de accesibilidad al conjunto de acciones que se vinculan entre sí, para así poder permitir la interacción entre el entorno o servicio con la persona. (INEN 2249, 2015)

La normativa INEN 2249, permite definir los criterios que deben ser aplicados dentro de cualquier tipo de organización sin importar su tamaño o actividad, con esto se hace referencia al conjunto de las exigencias:

- Deambulación
- Aprehensión
- Localización
- Comunicación.

## **1.3. Criterios DALCO**

Los criterios DALCO son el conjunto de requisitos relativos a las acciones de deambulación, apreheñsion, localización y comunicacion, para garantizar la accesibilidad universal. DALCO es el acrónimo de; deambulación, apreheñsion, localización y comunicacion. (INEN 2849, 2015)

Los criterios DALCO facilitan el análisis de la accesibilidad universal de cualquier entorno edificado de manera que permita su utilización por cualquier persona con independencia de sus capacidades o del nivel de desarrollo de la mismas. Existe un amplio consenso acerca de la idoneidad del método para el desarrollo de pautas de accesibilidad en entornos edificados o urbanizados concretos, mediante un estudio detallado de las interacciones existentes. La metodología que se organiza tras los criterios DALCO está muy relacionada con conceptos

como: "la cadena de accesibilidad" o la concepción de la discapacidad como "el resultado de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a las actitudes y al entorno". (Vásquez, 2014)

La dificultad de aplicación de los criterios DALCO radica en las mismas cuestiones que le confieren su idoneidad como metodología: el estudio exhaustivo de las interacciones existentes y la ausencia de aplicación de criterios prescriptivos de dimensionamiento.

### **1.3.1. Deambulaci3n.**

Acci3n de desplazarse de un sitio a otro. La deambulaci3n puede ser horizontal, es decir, la que se produce desplaz3ndose por calles, aceras, andenes, pasillos, corredores, entre otros; y vertical, como la que se produce cuando existen cambios de nivel subiendo o bajando, escaleras, rampas, ascensores, entre otros. (INEN 2849, 2015).

### **1.3.2. Aprehensi3n.**

Acci3n de agarrar, girar, empujar, recoger o asir alguna cosa. Lleva implícita la acci3n de alcanzar lo que vaya a ser asido. (INEN 2849, 2015)

### **1.3.3. Localizaci3n.**

Confirmaci3n del lugar exacto en el que se ubica algo o alguien. (INEN 2849, 2015)

### **1.3.4. Comunicaci3n.**

Intercambio de la informaci3n inteligible necesaria para realizar una actividad prevista en él. (INEN 2849, 2015)

## **1.4. Discapacidad**

Se considera persona con discapacidad a toda aquella que, como consecuencia de una o m3s deficiencias, físcas, mentales, intelectuales o sensoriales, con independencia de la causa que la hubiera originado, ve restringida permanentemente su capacidad biol3gica, psicol3gica y asociativa para ejercer una o m3s actividades de la vida diaria. (INEN 2849, 2015)

La discapacidad es la condici3n de una persona que padece de una disminuci3n físcica, sensorial o psíquica que la incapacita total o parcialmente para el trabajo o para otras tareas ordinarias de la vida. (RAE)

## 1.5. Sistema de transporte

Una parte fundamental para el desarrollo de las sociedades son los mecanismos que permiten el desplazamiento de las personas. Existe una variabilidad de medios que permiten acercar las fronteras y las distancias. En este sentido, los sistemas de transporte son un conjunto de elementos relacionados que permiten movilizar personas y carga desde un punto geográfico a otro (INEN 22-1, 2015). Esto genera un costo por traslado, pero genera una ganancia en tiempo de movilización.

## 1.6. Tipos de accesos para personas con dificultad de movilidad

La accesibilidad universal es la condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad, comodidad de la forma más autónoma y natural posible. (INEN 2849, 2015)

Las plataformas y otros elementos mecánicos utilizados para salvar diferencias de nivel disímiles a los ascensores, escaleras y rampas mecánicas deben diseñarse en función de la actividad y uso a la que van a ser destinados. (INEN 2849, 2015)

### 1.6.1. Rampa.

Construcción formada por un plano inclinado que tiene una pendiente igual o superior a 1:20 (5%) respecto a la horizontal, así como por todas las mesetas intermedias, que permite pasar de un nivel a otro. (INEN 2849, 2015)

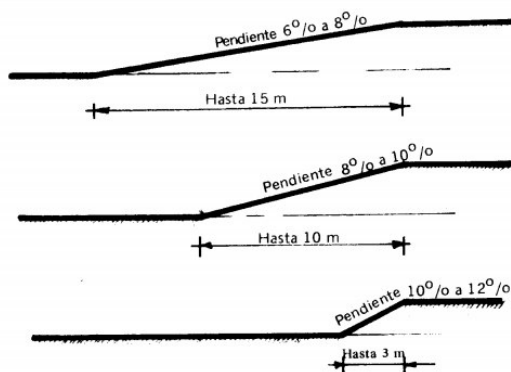


Figura 1.1. Especificaciones para rampas.

Fuente: (INEN 2849, 2015)

Toda rampa debe llevar pasamanos de acuerdo con en NTE INEN 2244. Las rampas deben señalizarse en forma apropiada de acuerdo con en NTE INEN 2239.

Según el entorno, la actividad y el uso para el que hayan sido diseñadas deben tener las dimensiones (longitud del recorrido, anchuras, pendiente, entre otros) y deben contar con los elementos, descansos, pasamanos, zócalo, pisos, señales, entre otros, con base en la normativa INEN vigente en materia de accesibilidad. Las cuestiones relativas a la seguridad adquieren especial relevancia cuando las rampas a utilizar se incorporan como elementos constructivos temporales o sean portátiles. (INEN 2849, 2015)

### **1.6.2. Escaleras.**

Para la conceptualización del presente termino, nos basaremos en la Dirección General de Reglamentos y Sistemas de Republica Dominicana, en la cual se nos especifica que las escaleras son un “medio de circulación vertical que está compuesto por una conjunto de tres o más escalones que permite al individuo moverse hacia los diferentes pisos de un edificio o a un plano más elevado; todo esto está diseñado en base a las especificaciones técnicas establecidos que aseguran las condiciones de seguridad a los individuos” (Dirección General de Reglamentos y Sistemas , 2015)

En el presente concepto se aclaró, que las escaleras son un medio de conexión, por lo cual se debe tener presente las dimensiones como lo son el ancho de paso y la altura, además de que en el caso de las personas con movilidad reducida también se debe considerar el área de maniobra.

#### **1.6.2.1. Escaleras conformadas con sucesiones de escalones y descansos.**

Cuando se quiere privilegiar el uso de una escalera por parte de personas en silla de ruedas, con andador, con coche de bebé o coche liviano de transporte de objetos, la dimensión de la huella será mínimo de 120 cm, pudiendo incrementarse en módulos de 60 cm completos, permitiendo que la huella funcione como un descanso; la dimensión de la contrahuella no debe ser menor a 6 cm ni mayor a 12 cm. Este diseño específico es el que se conoce como escaleras de sucesiones de escalones y descansos.

Cuando estas escaleras constituyen el único medio para salvar desniveles, deberán cumplir con las siguientes condiciones:

Disponer de una huella superior o igual a 1,2 metros, con una contrahuella inferior o igual a 0,18 metros. El ancho mínimo debe ser de 1,2 metros y con un límite superior de 10 escalones. Se deberá disponer de un ancho como mínimo de 0,9 metros. En el momento en el que la escalera realice un giro de 90 grados, debe tener un ancho mínimo de 1 metro, si el ángulo de giro supera los 90 grados, el ancho mínimo de la escalera deberá ser de 1,2 metros. (INEN 2249, 2015)

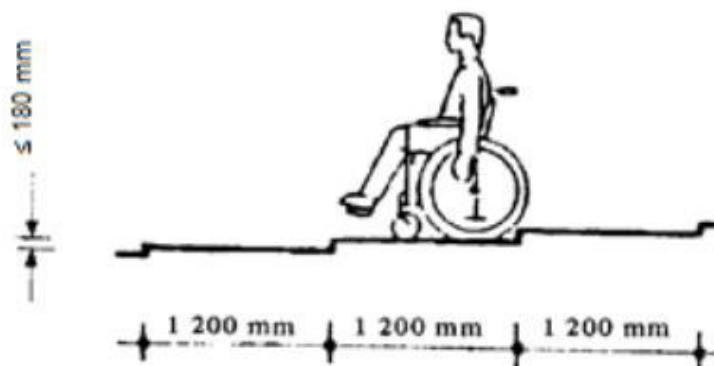


Figura 1.2. Escaleras en sucesiones.

Fuente: (INEN 2249, 2015)

## 1.7. Accesos para personas con movilidad reducida a nivel internacional

El diseño universal es parte esencial de la estrategia para conseguir una sociedad en la que todas las personas pueden participar. Un modelo de sociedad que se está redefiniendo, tomando como base la inclusión de todos y que deriva, en gran medida, de la reflexión acerca del modo que la sociedad quiere acoger a la persona en toda su diversidad. Un ingrediente de esta diversidad es la discapacidad.

Los criterios DALCO de accesibilidad universal y diseño para todos, cuya aplicación en el entorno da lugar a que cualquier persona con independencia de su condición etaria, sexo, género, origen cultural o capacidad, pueda utilizarlo.

Se han considerado las acciones de deambulación, aprehensión, localización y comunicación, por su sencillez y claridad a la hora de explicar genéricamente las capacidades que las

personas ponen en práctica cuando realizan las actividades ligadas al uso de cualquier entorno. Naturalmente, no todas las capacidades humanas están recogidas en estas cuatro acciones, lo que ni se pretende, ni invalida la posibilidad de uso y el carácter práctico del acrónimo DALCO que las representa.

## **1.8. Innovación en diseño para edificaciones**

El diseño, en forma y dimensiones, de todos los elementos debe permitir la aproximación de cualquier usuario. Cuando esa aproximación deba realizarse frontalmente, los elementos deben estar libres de obstáculos en su parte inferior cuidando que la altura, la anchura y la profundidad faciliten la aproximación. Debe preverse la posibilidad de que los usuarios necesiten apoyarse al realizar los movimientos de aproximación a los elementos a utilizar: mobiliario, máquinas interactivas, equipos a utilizar, entre otros. Estos deben tener la estabilidad y resistencia suficiente como para ser utilizados para el efecto. Si a este apoyo se incorporan ayudas técnicas específicas barras, soportes, entre otros, debe cuidarse que no constituyan un obstáculo para otros usuarios. (INEN 2849, 2015)

El diseño del paramento, mobiliario, máquina o equipo en el que se encuentren ubicados los elementos a manipular debe ser tal que permita la aproximación, el alcance y los movimientos de maniobra y uso requeridos. Así, deben diseñarse o seleccionarse teniendo en cuenta formas, volúmenes, espacios de aproximación y de maniobra, altura, profundidad, ángulos, así como los materiales con los que se fabrican texturas, colores, resistencias, entre otros. (INEN 2849, 2015)

El diseño de los elementos, productos y servicios a manipular debe tener en cuenta el tipo de operaciones a realizar: aprehensión, captura, giro, pulsación, presión, traslado, entre otros; considerar su peso, volumen, forma, la dotación de elementos auxiliares de apoyo, los materiales para su fabricación (la textura, resistencia y reacción a elementos naturales cuando se ubican afuera), el esfuerzo y el grado de precisión requeridos para su uso.

Cualquier elemento que requiera accionamiento manual no debe ofrecer una resistencia excesiva al mismo, ni exigir al usuario un alto grado de precisión. Es necesaria la sustitución de estos elementos por otros de presión, siempre que sea técnicamente posible por los de accionamiento automático. (INEN 2849, 2015)

Las plataformas y otros elementos mecánicos utilizados para salvar diferencias de nivel diferentes a los ascensores, escaleras y rampas mecánicas deben diseñarse en función de la



actividad y uso a la que van a ser destinados. Cuando estos aparatos se utilicen como alternativa a un tramo de escalones o a una escalera y se instalen en ella, deben mantener el ancho mínimo libre de paso, sin dificultar el uso del pasamanos u ofreciendo una alternativa al mismo. (INEN 2245, 2015)

## **1.9. Sistemas hidráulicos**

En la física hay una rama destinada a la hidráulica, esta ciencia analiza y estudia el actuar de los líquidos en facultad de sus propiedades específicas. De manera más específica, estudia sus facultades mecánicas de los líquidos en base a la fuerza o presión a la cual son sometidos.

Un sistema hidráulico usa cualquier fluido al que se le aplica una presión para impulsar a una máquina ya sea grande o pequeña esto dependerá de la capacidad de esta. Los sistemas hidráulicos se usan en su mayoría en sectores industriales grandes y pequeños, como en la construcción de rascacielos, equipos de construcción encargados de obras, vehículos, procesamiento del acero, entre otros. (Ruales, 2021)

### **1.9.1. Componentes de los sistemas hidráulicos**

En los sistemas hidráulicos siempre habrá tres partes diferentes, estas son: los generadores de presión o grupo de presión, los del sistema de mando y los actuadores.

El grupo de presión o creadores de presión son unos motores o un solo motor depende el caso que están encargados de transferir potencia al actuador para que este genere el trabajo, la regulación del manejo de la transmisión de potencia, este control se lleva a cabo en el sistema de mando que está integrado por una serie de válvulas que pueden limitar el caudal y otras válvulas que se encargan de las presión, distribución y bloqueo, etc. (Ruales, 2021)

Los elementos de control tienen como función regular el paso de fluido que proviene desde las bombas y que van a los actuadores. Las denominadas válvulas se pueden activar de diversas maneras:

- Manualmente
- Circuito eléctrico
- Neumáticos
- Hidráulicos o mecánicos. Estas válvulas se pueden clasificar en 3 conjuntos: de dirección, antirretorno y de presión y caudal.

Cuando el fluido llega a los actuadores estos transforman dichos fluidos en energía hidráulica, que luego será usada para lograr el efecto o la acción que se busca. Existen dos tipos de actuadores estos se dan por el tipo de movimiento:

- Los cilindros: capaces de producir un movimiento rectilíneo
- Los motores: con los que se consigue un movimiento rotativo

## 1.10. Sistemas electrónicos

La electrónica es el campo de la ingeniería y la de física aplicada que estudia el diseño de circuitos que permiten generar, modificar o tratar una señal eléctrica, normalmente circuitos de corriente continua.

Hoy en día la electrónica es un campo en continua evolución, gracias al descubrimiento de nuevos materiales y al vertiginoso desarrollo de los circuitos integrados. Tiene una alta importancia en la actualidad debido a que resuelve una gran infinidad de problemas y necesidades, con múltiples aplicaciones en la industria, telecomunicaciones, medicina, informática y un largo etcétera.

Los sistemas electrónicos son conjuntos de circuitos que operan con señales eléctricas y las tratan para ejecutar una determinada función. Constan de una etapa de entrada, en la que se recogen datos del exterior (luz, humedad, movimiento, pulsación en un teclado, temperatura, etc.) y de una etapa de proceso o control, donde se interpretan, gestionan y elaboran los resultados que permiten o no activar los dispositivos de salida, que forman la última etapa. Esto se puede observar en la Figura 1.3.

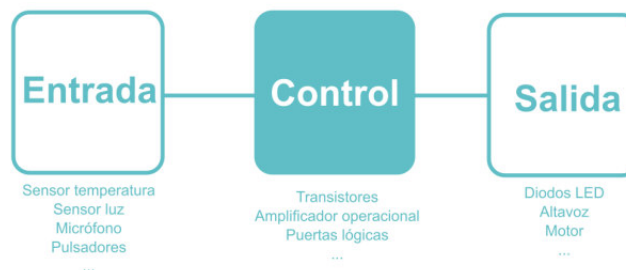


Figura 1.3. Sistemas electrónicos.

Fuente: (Elaboración propia, 2021)

En función del tipo de señal que empleen, los sistemas electrónicos pueden ser analógicos o digitales. En un sistema analógico, la señal puede tomar infinitos valores diferentes en un intervalo determinado. En un sistema digital, sin embargo, la información solo puede adoptar dos valores diferentes, denominados estados lógicos (0 y 1) que se corresponden normalmente con 0 V o 5 V. En la naturaleza casi todos los parámetros físicos son analógicos, por lo que si se desean tratar de forma digital es necesario convertirlos (Rodríguez & Gómez, 2021). En la Figura 4 se visualiza los tipos de señales electrónicas.

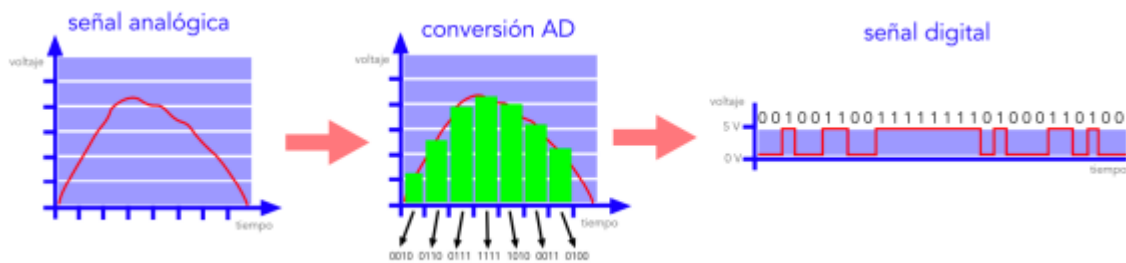


Figura 1.4. Tipos de señales electrónicas.

Fuente: (Rodríguez & Gómez, 2021)

Realmente la electrónica analógica trabaja con las magnitudes eléctricas que ya se conoce: intensidad, voltaje, y las modifica, mientras que la electrónica digital realmente trabaja con números. Cada dato de intensidad o voltaje de un circuito digital se transforma en un número binario, fácil de almacenar en una memoria, operar matemáticamente. La electrónica digital es más completa, pero para que exista se necesita primero una señal analógica que luego se convertirá en una señal digital (conversión AD).

Las principales características de los circuitos electrónicos, tanto analógicos como digitales, son:

- La corriente continua es la base de funcionamiento.
- Hace uso de niveles bajos de tensión (0V-5V para lógica TTL y 0V-24V para lógica usada en el ámbito industrial).
- Igualmente se usan los llamados semiconductores.

## 1.11. Sistemas mecánicos

Los sistemas mecánicos son un conjunto de componentes, elementos o dispositivos físicos cuya función específica es convertir o transmitir el movimiento y la fuerza de entrada generada

por alguna fuente de energía, al movimiento y la fuerza de salida que se desea producir. Por tanto, son sistemas que tienen partes móviles. (Corvo, 2021)

Es decir, todo sistema que posea varias partes móviles que se mueven de tal manera que en su conjunto producen ventajas mecánicas o de otro tipo puede considerarse como sistema mecánico.

Por ejemplo, cuando se abre o se cierra una persiana con una manivela, se saca la punta de un lápiz con un sacapuntas o se maneja un vehículo, se están utilizando sistemas mecánicos que sirven para ayudar a realizar esas acciones.

El automóvil utilizado diariamente tiene cuatro ruedas con movimiento circular. El motor en su interior tiene un pistón moviéndose hacia arriba y hacia abajo. La leva da vueltas y vueltas. El auto como tal se mueve. Todo el sistema tiene muchas cosas en movimiento para obtener una ventaja mecánica.

### **1.11.1. Características de los sistemas mecánicos**

#### **1.11.1.1. Fuente de energía**

La energía podría provenir de la electricidad, de la gasolina o de la energía solar, pero a menudo la energía proviene de los humanos. Estructuras como las pirámides se construyeron únicamente con la energía humana. Por ejemplo, la energía necesaria para mover una bicicleta proviene de un ser humano que pedalea.

#### **1.11.1.2. Tipos de movimiento**

Encontramos tres variantes de movimientos, dentro de lo que son los elementos motrices y los movimientos transferidos. Como primer movimiento encontramos el rotatorio o circular, que es aquel que posee una rueda.

El segundo movimiento que encontramos es el alterno, el cual es un movimiento de vaivén, de ida y vuelta, como el de un péndulo y como tercer y último encontramos al movimiento lineal, el cual traza una línea recta de forma continua.

#### **1.11.1.3. Grupos de mecanismos**

Mecanismos de transmisión del movimiento: Son los mecanismos donde el elemento de entrada y el elemento de salida poseen la misma clase de movimiento.

Por ejemplo, el mecanismo de la bicicleta, porque su elemento motriz (pedales) tiene un movimiento circular y el sistema de salida (rueda trasera) tiene un movimiento rotatorio.

Mecanismos de transformación del movimiento: Son los mecanismos donde el elemento de entrada y el elemento de salida poseen distintas clases de movimiento. Por ejemplo, el mecanismo que hace subir una persiana mediante una manivela, porque su elemento motriz (manivela) posee un movimiento circular, y el sistema de salida (persiana) posee un movimiento lineal.

#### **1.11.1.4. Relación de transmisión**

Se refiere a la relación de la velocidad de giro existente entre el eje de salida con respecto a la del eje de entrada del sistema mecánico. Es un valor esencial, porque indica de qué manera se modifica la velocidad del movimiento en el sistema mecánico:

Relación de Transmisión= velocidad de salida / velocidad de entrada.

Si la relación es menor que 1, significa que el mecanismo disminuye la velocidad, siendo un mecanismo reductor. Si es mayor que 1, entonces el mecanismo incrementa la velocidad, siendo un mecanismo multiplicador.

Finalmente, si es igual a 1, entonces el mecanismo no disminuye ni incrementa la velocidad, si no solo transmite el movimiento, siendo un mecanismo igualador.

#### **1.11.2. Elementos de un sistema mecánico**

Los sistemas mecánicos y los mecanismos están formados al menos por los siguientes tres grandes bloques de elementos:

##### **1.11.2.1. Bloque de entrada o bloque motriz**

La parte correspondiente a la entrada del sistema es cualquier tipo de movimiento y fuerza que sirva para poner en marcha el movimiento del sistema mecánico.

El movimiento y la fuerza motriz de entrada puede provenir de cualquier fuente de energía, tales como el esfuerzo humano, la energía del viento, el agua, el calor, etc. Asimismo, puede provenir de una reacción química o de un dispositivo eléctrico, mecánico, neumático o hidráulico.

### **1.11.2.2. Mecanismo o bloque transmisor**

La parte correspondiente al bloque transmisor del sistema es donde se utilizan los mecanismos que sirven para poder convertir el movimiento y la fuerza de entrada en un movimiento y fuerza de salida.

Es decir, recoge, transfiere y altera las fuerzas y el movimiento que le son suministradas por los dispositivos del bloque motriz, conduciéndolos hasta el sistema de salida.

### **1.11.2.3. Sistema de salida o sistema receptor**

La salida se refiere al cambio producido por el bloque transmisor en el movimiento y la fuerza de entrada aplicados.

Por tanto, este sistema es el conjunto de elementos que reciben las fuerzas y el movimiento del mecanismo como tal, realizando en la salida el trabajo para el cual fue concebido el sistema mecánico.

## 2. METODOLOGÍA

En el presente apartado se detallará de una manera clara y precisa la metodología para el diseño de una solución que sea adaptable y permita el acceso a la población con movilidad reducida a través de un estudio numérico y experimental. Se realizará de manera general la metodología indicada en la Figura 2.1.

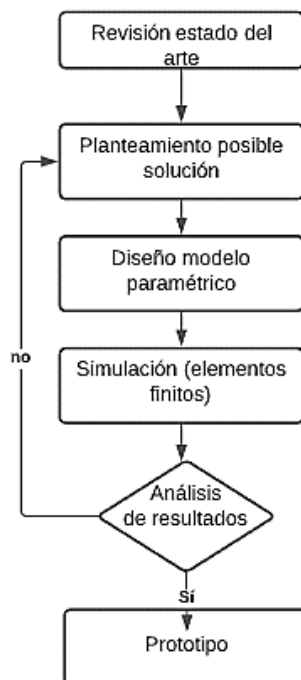


Figura 2.1. Metodología general.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

A pesar de que las distintas perspectivas y metodologías de la ingeniería concurrente tienen por objeto concebir los productos y servicios de forma global en beneficio de los usuarios, lo cierto es que repercuten de distinta manera sobre los intereses de las empresas y de las colectividades. (Riba-Romeva, 2002)

Este capítulo empieza a desarrollarse con la definición de la solución a implementar, utilizando la herramienta de implementación llamada la casa de la calidad, es un método gráfico que integra información de diversos aspectos, especificaciones del cliente ponderadas, atributos técnicos y evaluación competitiva (Sejzer, 2016). Luego, se generará un diseño general donde se dividirán en módulos para facilidad de análisis. Seguidamente, se analizarán distintas

alternativas de solución para cada módulo y se seleccionara la más apropiada haciendo uso del método ordinal corregido de criterios ponderados mencionado por Riba (2002).

## 2.1. Desarrollo de la función de la calidad (QFD)

La casa de la calidad es una de las herramientas más prácticas y representativas que utiliza un gráfico estructurado que se completa a través del análisis y llenado de las diferentes zonas. Esto para realizar un QDF (Quality Fuction Deployment); el cual es un método poderos e integral de gestión de calidad en la etapa de diseño de un producto. (Sejzer, 2016)

Se definieron cuatro fases para el desarrollo de la función de la calidad. Cada fase se representa a través de un gráfico o matriz cuya información aporta especificaciones para la fase siguiente. Estas fases son:

- Planificación del producto o casa de la calidad.
- Despliegue de componentes.
- Planificación del proceso.
- Planificación de la producción.

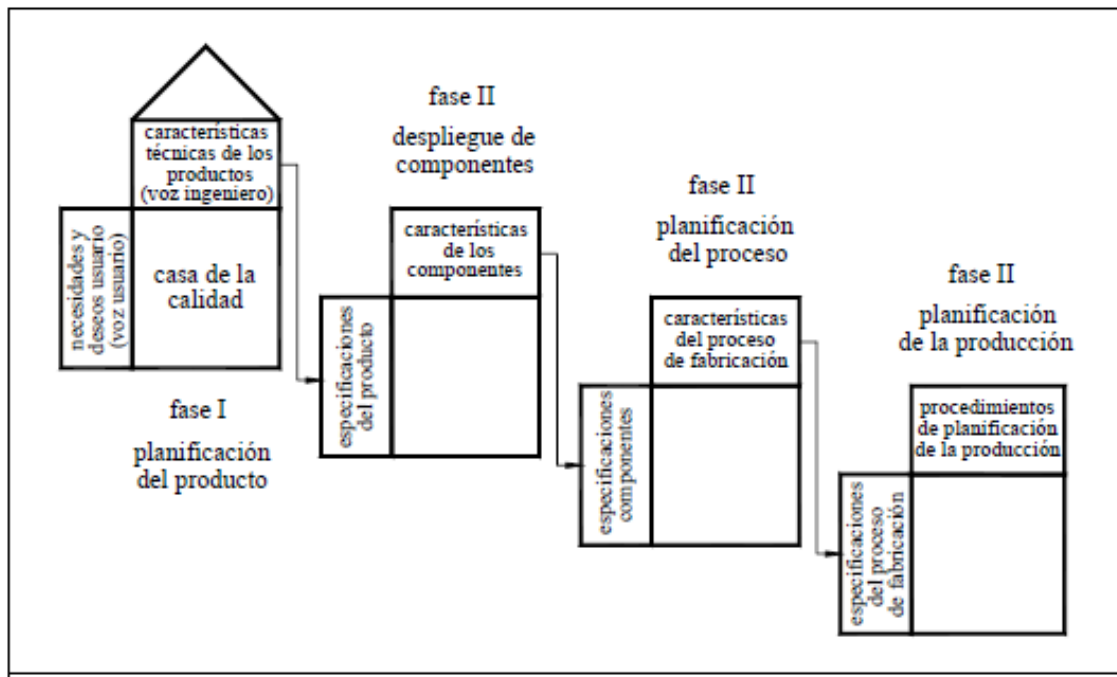


Figura 2.2. Esquema general del desarrollo de la función de calidad.

Fuente: (Sejzer, 2016)



Entre los beneficios más resaltantes de la implantación de la función de la calidad tenemos; definir de forma sólida el producto, acordar el tiempo del desarrollo, pocos cambios al momento del desarrollo, identificar los módulos que requieren mejoras, facilitar cambios rápidos, elimina las inconformidades del cliente.

## 2.2. Casa de calidad

La casa de la calidad es una de las herramientas más prácticas y representativas que utiliza un gráfico estructurado que se completa a través del análisis y llenado de las diferentes zonas. Esto para realizar un QDF (Quality Function Deployment); el cual es un método poderoso e integral de gestión de calidad en la etapa de diseño de un producto. (Sejzer, 2016)

Para el armado del gráfico se plantean siete pasos:

1. Identificar lo que el cliente desea o conocido como la voz del usuario; describe los requerimientos y especificaciones del producto por usuario.
2. Análisis de la competitividad; indica el grado de satisfacción del producto referente a los productos de la empresa. Por lo que hay que definir; que nivel de importancia tiene el cumplimiento del producto, en qué nivel el producto a trabajar cumple la necesidad del cliente, por último, en qué nivel los productos de la competencia cumplen (columnas A, B y C respectivamente) Ver figura 2.3. Realizado el análisis de la competencia se procesa a evaluar los objetivos a cumplir en relación con la demanda del cliente, estableciendo el nivel deseado, de 1 a 5 (columna D) ver figura 2.3. Acto seguido, evaluamos el índice de mejora, indicando el grado de mejora del producto respecto a cada demanda (Columna E,  $E = D/A \geq 1$ ) ver figura 2.3. , se hace énfasis en las demandas sé que consideran de importancia en el factor de demanda, en niveles de 1/1,2/1,5 (columna F) ver figura 2.3. Importancia evaluada por los usuarios, de 1 a 5 (columna G) ver figura 2.3. Finalmente se establece una ponderación (columna H,  $H = E * F * G$ ) y una ponderación porcentual para cada demanda del cliente (Columna I, porcentaje sobre el total de las demandas) ver figura 2.3.
3. Especificaciones técnicas o voz del ingeniero; consiste en crear las especificaciones técnicas las cuales cumplirán cada una de las demandas al cliente.

4. Correlaciones entre la voz del cliente y la voz del ingeniero; consiste en saber cuánto va a satisfacer una especificación técnica con cada demanda realizada por el cliente. Para evaluar esta correlación se establecen tres niveles: fuerte, mediano o débil, las cuales se puede representar mediante símbolos o números. De no existir relación alguna se deja en blanco.
  
5. Evaluación técnica, evaluación de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las demandas del usuario. Para esto se calcula la incidencia de cada característica técnica en base al sumatorio de productos de los factores de incidencia,  $I_d$ , función de cada correlación (fuerte = 9; mediana = 3; débil = 1, Figura 2.3), por el correspondiente valor de la ponderación,  $S_{dt}$ , (columna H de la Figura 2.3).
  
6. Compromisos técnicos, Ubicado en la parte superior de la casa de la calidad, esta indica la interacción entre las características técnicas. Se establecieron cuatro niveles: muy negativa, negativa, positiva, muy positive. Donde se considera esta interacción entre las características técnicas como: Correlación positiva; la cual indica que al mejorar una característica mejora la otra. Correlación negativa, al mejorar una característica empeora la otra. Correlación neutra; indica que cualquier cambio que tenga una característica no afecta la otra.

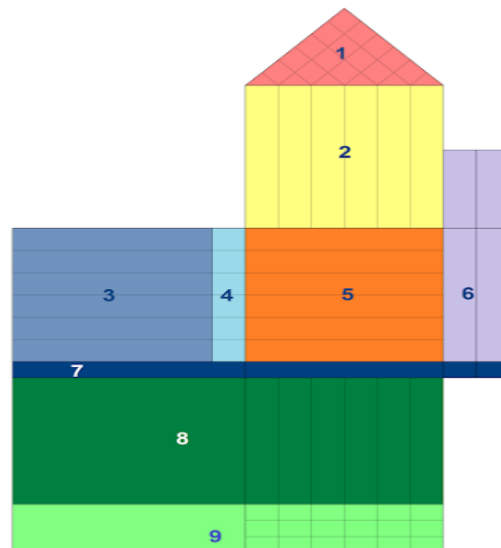


Figura 2.3. Gráfico de la casa de la calidad.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Una vez establecidos estos pasos, se describen las zonas de la casa de la calidad para el diseño de la solución adaptable al medio físico para personas con movilidad reducida:

Entre las necesidades del cliente o como se le conoce la voz del usuario, tenemos las siguientes demandas:

- Acceso para cualquier edificación.
- Acceso apto para todas las personas con movilidad reducida
- Acceso seguro.
- Acceso de fácil operación.
- Acceso con larga vida de utilidad.
- Acceso que se pueda ubicar en exteriores e interiores

En las características técnicas las cuales describen todo lo que el ingeniero puede realizar en términos de atributos del producto para satisfacer las demandas del cliente. Estos atributos son:

- Capacidad
- Materiales
- Dimensiones.
- Fiabilidad.
- Autonomía
- Durabilidad.

En el Anexo I se muestra la casa de la calidad en un mayor tamaño para su mejor lectura, asimismo contiene el armado final para el desarrollo del sistema de acceso.

### **2.3. Especificaciones técnicas**

El sistema de acceso para personas con dificultad debe cumplir con los siguientes requerimientos planteados a continuación en la tabla 2.1.:

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas

<b>Cliente:</b>	<b>Producto:</b> Sistema de acceso para personas con movilidad reducida		Página 1
<b>Empresa:</b> Escuela Politécnica Nacional			Diseñadores:
<b>Especificaciones</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad	C	R	Transporte seguro de personas con movilidad reducida entre dos niveles y su acompañante.
Dimensiones	C+I	R	1250 mm x 900 mm plataforma (Normas INEN)
Materiales	C+I	R	Alta resistencia mecánica, disponibilidad en el mercado y resistencia a intemperie.
Energía	I	R	Accionamiento manual, uso de energía presente en las edificaciones.
Vida útil y mantenimiento	C	R	Mantenimiento sencillo y con poco impacto económico.
Ergonomía	C	R	Posibilidad de uso sin necesidad de un acompañante
	<b>Propone</b>	C= Cliente I= Ingeniería	
	<b>Requerimiento</b>	R= Requerimiento D= Deseo	

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

## 2.4. Análisis funcional

Para describir y la resolver problemas de diseño se utiliza el concepto de función, que se define como una transformación de una tarea en la que intervienen flujos de entrada y salida. Dentro de las funciones se tiene la función global que representa la tarea global que el producto va a realizar, y las subfunciones que permiten realizar una representación más precisa de las funciones que deberá realizar el producto. La representación del conjunto de subfunciones con las entradas y salidas junto a las interrelaciones de flujos entre ellas es lo que se conoce como estructura funcional. (Riba-Romeva, 2002)

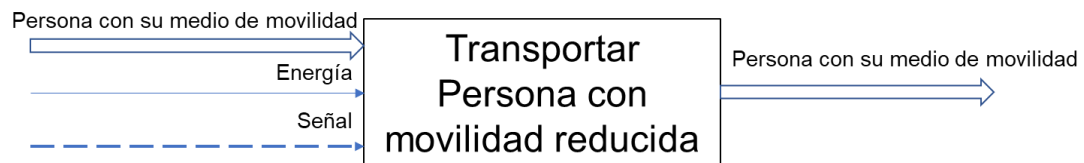
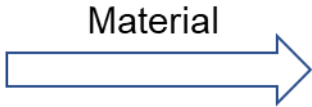
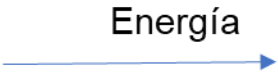



Figura 2.4. Diagrama funcional nivel 0.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la Figura 2.3 se representa la estructura funcional de la función global del sistema de acceso para personas con movilidad reducida por medio de la simbología propuesta por la norma VDI 2222 (Sejzer, 2016). En la Figura 2.4 se representan los flujos de entrada y salida por medio de flechas de diferente tipo. Las flechas representan las interfaces, que se definen como cualquier superficie real o imaginaria entre dos funciones de un sistema, a través de la cual se realizan las relaciones del tipo: unión mecánica, flujo de energía, flujo de materiales o flujo de señales. En la Tabla 2.2 se describen, definen y se aplica por medio de ejemplos el tipo de interfases que se tienen en la función global para el sistema de acceso para personas con movilidad reducida.

Tabla 2.2. Descripción de las interfases para función global del sistema de acceso.

Tipo de interfase	Definición	Ejemplo para el sistema de acceso	Simbología según norma VDI 2222
Interfase de transferencia de materiales	Superficie a través de la cual se establece un flujo de material.	La persona debe ingresar al sistema de acceso a implementar.	
Interfase de energía	Superficie a través de la cual se establece un flujo de energía.	El sistema de acceso requiere de una alimentación eléctrica e hidráulica para que se accione.	
Interfase de señal	Superficie a través de la cual se establece un flujo de señal.	La señal de la interfaz de comunicación entre el controlador y el usuario activan el sistema de acceso.	

Fuente: (Riba C, 2002)

La Figura 2.5 representa las subfunciones de la función global del sistema de acceso para personas con movilidad reducida.

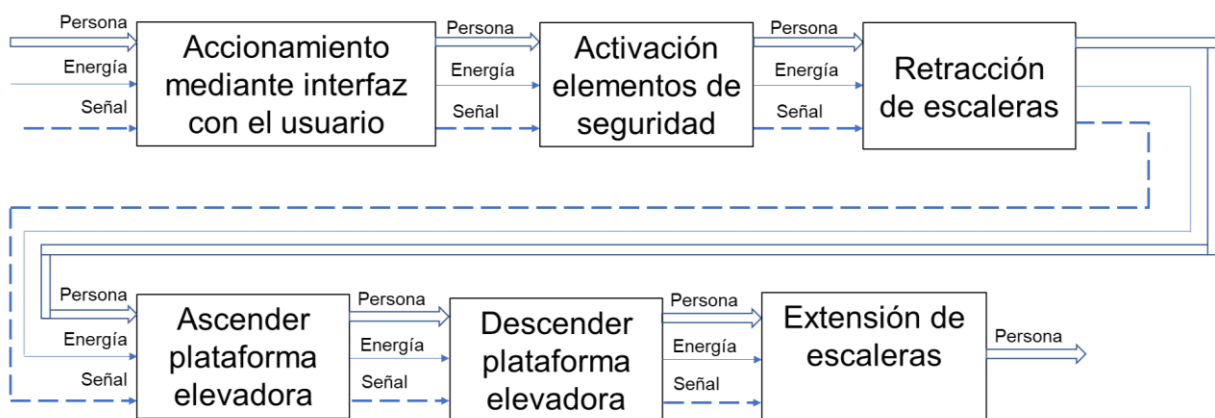


Figura 2.5. Diagrama funcional nivel uno.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

## 2.5. Generación de módulos

Para el diseño conceptual, la generación de módulos es de vital importancia. Estos módulos muestran las funciones y subfunciones del sistema. Gracias a los módulos, las funciones pueden presentarse de forma organizada, de manera que las soluciones se puedan construir fácilmente (Sejzer, 2016).

Al utilizar los módulos, las funciones a realizar se presentan claramente, partiendo desde la más compleja, desde la cual se irán obteniendo subfunciones, hasta llegar a la más simple.

Debido a que se busca sustituir los métodos de acceso existentes orientados a personas con movilidad reducida, se puede dividir el funcionamiento del sistema de acceso en los siguientes módulos funcionales:

- **Módulo 1:** De retracción-despliegue de escaleras.
- **Módulo 2:** Plataforma elevadora.
- **Módulo 3:** Interfaz Humano-Máquina.

## 2.6. Criterios técnicos para la evaluación de las alternativas de solución

De acuerdo con el análisis funcional realizado y reconociendo las funciones principales que debe tener el sistema de acceso para personas con movilidad reducida, se desarrollan 2 alternativas de solución para cada módulo con su respectiva evaluación por medio de los criterios técnicos identificados a partir del desarrollo de la casa de la calidad. Los criterios para la evaluación de alternativas se describen en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Criterios para la evaluación de alternativas.

<b>Criterio Técnico</b>	<b>Criterio del usuario</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad	Transporte seguro para personas con movilidad reducida, su medio de transporte y un acompañante.	La plataforma elevadora debe tener la capacidad de cargar con el peso de 2 personas y el medio de transporte de una de ellas (250 kg).
Dimensiones	Que ambas personas quepan cómodamente.	Plataforma de 1250mm x 900mm de superficie.
Materiales	Que soporte el uso repetido y soporte estar en intemperie.	El diseño debe ser poco afectado ante las condiciones de trabajo o medio ambiente lo que se conoce como diseño robusto.
Energía	Que pueda ser energizado con la misma fuente presente en las edificaciones.	Debe ser capaz de usar alimentación AC en 120/240VAC.
Vida útil y mantenimiento	Mantenimiento sencillo.	Tiempo entre fallas amplio y mantenimiento sencillo de realizar.
Ergonomía	Uso sin necesidad de un acompañante.	Debe existir HMI en ambos extremos del sistema (arriba y abajo).

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.6.1. Evaluación del peso específico de cada criterio

Mediante el uso del método ordinal corregido de criterios ponderados, en donde en base a calificaciones de cada criterio por medio de la asignación de un valor descrito en la Tabla 2.4, se cuantifica y decide el orden de preferencia de cada criterio según el orden de valores de mayor a menor o igual obtenidos en la columna final de la Tabla 2.5.



Tabla 2.4 Descripción de la asignación de valores para las evaluaciones de cada criterio.

Calificación	Descripción
1	Si el criterio de las filas es superior (o mejor >) que el de las columnas
0.5	Si el criterio de las filas es equivalente (=) al de las columnas
0	Si el criterio de las filas es inferior (o peor <) que el de las columnas

Fuente: (Sejzer, 2016)

Tabla 2.5 Resultados del método de criterios ponderados.

Criterio	Capacidad	Dimensiones	Materiales	Energía	Vida útil y mantenimiento	Ergonomía	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacidad		0.5	0.5	1	1	1	5	0,238
Dimensiones	0.5		1	1	0.5	0.5	4.5	0,214
Materiales	0.5	0		1	1	0.5	4	0,190
Energía	0	0	0		0.5	0.5	2	0,095
Vida útil y mantenimiento	0	0.5	0	0.5		0.5	2.5	0,119
Ergonomía	0	0.5	0.5	0.5	0.5		3	0,143
						Suma	21	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Los resultados obtenidos con este método permiten realizar un análisis más completo de cada criterio en las distintas soluciones a cada módulo, de manera que se seleccione el que sea más eficiente en su tarea. Los criterios definidos están ordenados de la siguiente manera y de acuerdo con su importancia:

Capacidad > Dimensiones > Materiales > Ergonomía > Vida útil y mantenimiento > Energía

### 2.6.2. Alternativas de solución para el módulo 1

A continuación, en la figura 2.6 y figura 2.7 se presentarán 2 alternativas de solución para este módulo:

- Solución 1: escalera convertible en plataforma
- Solución 2: escalera retráctil horizontal.

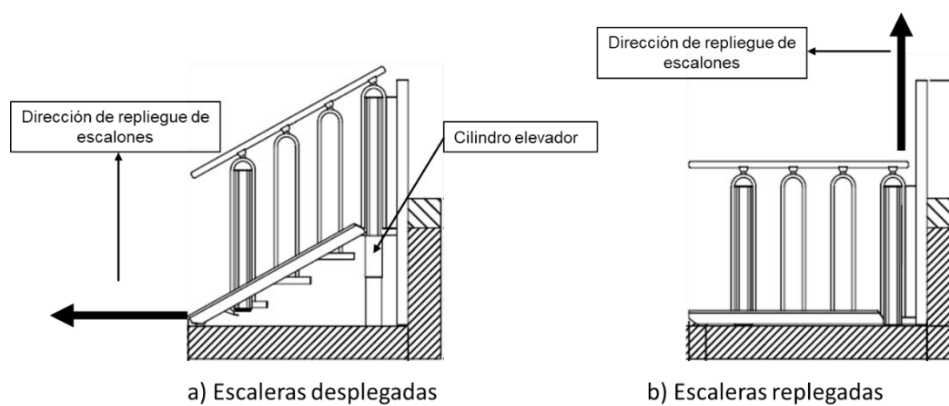


Figura 2. 6. Alternativa 1 módulo 1.

Fuente: (Válida sin barreras, 2021)

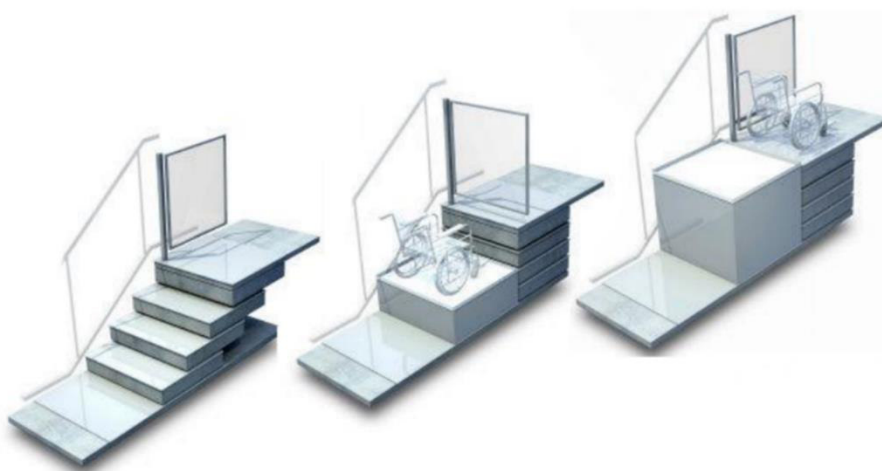


Figura 2.7. Alternativa 2 módulo 1.

Fuente: (Sesame Access, 2021)

Los siguientes criterios son los utilizados para regir este módulo:

- Dimensiones.
- Materiales.
- Energía.
- Vida útil y mantenimiento.

Se presenta una evaluación de cada uno de los criterios desde la Tabla 2.6 a la Tabla 2.10.

Tabla 2.6. Evaluación de cada criterio para el módulo 1.

Criterio	Dimensiones	Materiales	Energía	Vida útil y mantenimiento	$\Sigma+1$	Pondera
Dimensiones		1	1	1	4	0,40
Materiales	0		1	0.5	2.5	0,25
Energía	0	0		0.5	1.5	0,15
Vida útil y mantenimiento	0	0.5	0.5		2	0,2
					10	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Tabla 2.7. Evaluación de soluciones, criterio Dimensiones.

Dimensiones > Materiales > Vida útil y mantenimiento > Energía.

Dimensiones	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
			3	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Tabla 2.8. Evaluación de soluciones, criterio Materiales.

Solución 1 = Solución 2				
Materiales	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
<hr/>			3	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Tabla 2.9. Evaluación de soluciones, criterio Energía.

Solución 2 > Solución 1				
Energía	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
<hr/>			3	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Tabla 2.10. Evaluación de soluciones, criterio Vida útil y mantenimiento.

Solución 1 = Solución 2				
Vida útil y mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
<hr/>			3	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Tabla 2.11. Conclusión de evaluación.

Solución 2 > Solución 1

Conclusiones	Dimensiones	Materiales	Energía	Vida útil y mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0.2	0.08	0.08	0.07	0.43	2
Solución 2	0.2	0.17	0.08	0.13	0.58	1

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Con la Tabla 2.11 de conclusiones se puede ver que la mejor alternativa es la solución 2.

### 2.6.3. Alternativas de solución para el módulo 2

Solo se encontró una solución para este módulo, debido a que se necesita seguridad, capacidad y facilidad de uso; esta solución es una plataforma elevadora hidráulica de tijeras que se presenta en la figura 2.8.



Figura 2.8. Solución a modulo 2.

Fuente: (hydraulics, BASTYMEC, s.f.)

### 2.6.4. Alternativas de solución para el módulo 3

Solo se encontró una solución para este módulo, debido a que se requiere de facilidad de uso, ergonomía y fácil mantenimiento; la solución elegida es el de una caja botonera con señalización luminosa.

### 2.7. Diseño Preliminar

Teniendo en cuenta que el uso de la plataforma de tijeras va a ser utilizada por dos personas y el medio de transporte de una de ellas, por ejemplo, silla de ruedas. Las dimensiones que se usaran para el cálculo obedecen a las normas INEN que se han mencionado en el apartado 1 (Marco teórico). Se toma como altura de trabajo (distancia que se elevara la plataforma) de 1,5 metros.

#### 2.7.1. Criterios iniciales de diseño

- Plataforma (Longitud 1300mm)
- Plataforma (Ancho 1000mm)
- Se considera una sección inicial de las barras de las tijeras de 100x50x5 mm.
- La carga nominal de la maquina se considera en 260 kg.

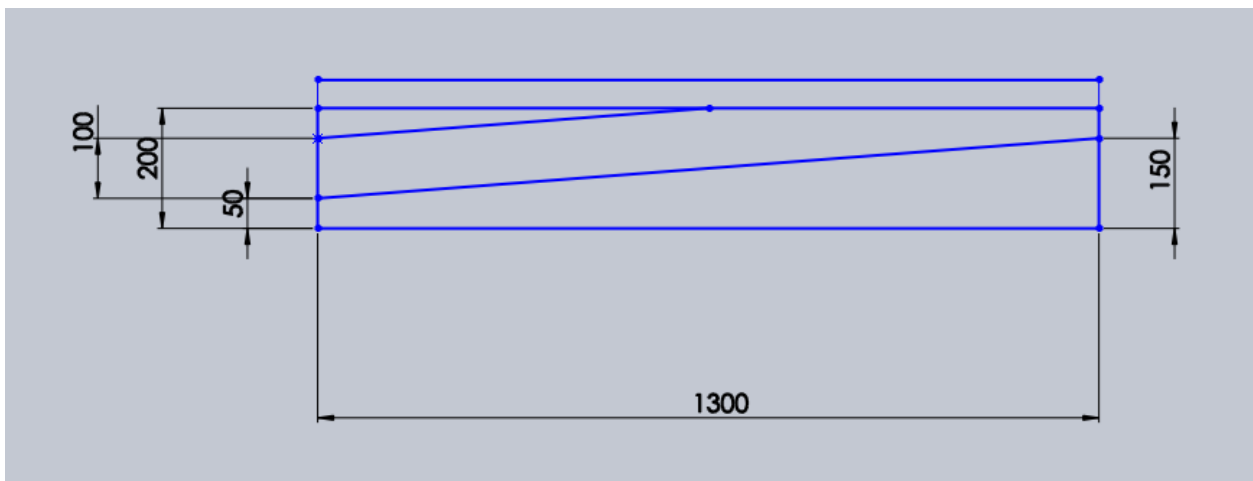


Figura 2.9. Vista de la plataforma de tijeras en estado replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Con base en la figura 2.9, se calcula la longitud aproximada de las barras teniendo como datos la altura (100 mm) del segmento de las barras de tijera y el ancho (1300 mm) de la plataforma.

$$L_{\text{barras}} = \sqrt{(1300\text{mm})^2 + (100\text{mm})^2} = 1303,84\text{mm}$$

### 2.7.2. Distribución de las fuerzas en la plataforma

El piso debe soportar la carga máxima “m” calculada según la expresión:

$$m = (N * Mp) + Me$$

Donde:

$Mp = 90$  kg (masa de una persona)

$Me \geq 40$  kg (valor mínimo de herramientas y materiales, en este caso será de 65 kg que es el peso de una silla de ruedas eléctrica).

$N$  = número permitido de individuos que usaran la plataforma en el mismo momento.

Dicha plataforma será usada por dos personas a la vez, de manera que, al realizar el cálculo estimado, el valor de la masa total es:

$$m = (2 * 90) + 65 = 245\text{kg}$$

Considerando que algunas de las personas pueden pesar más de 90 kg o el medio de transporte (silla de ruedas, por ejemplo) pese más de 65 kg. Se da a  $m$  el valor de 260 kg

En base a la información otorgada por la UNE-EN280 el peor escenario posible se da cuando las personas están dispuestas como podemos observar en la figura 2.10

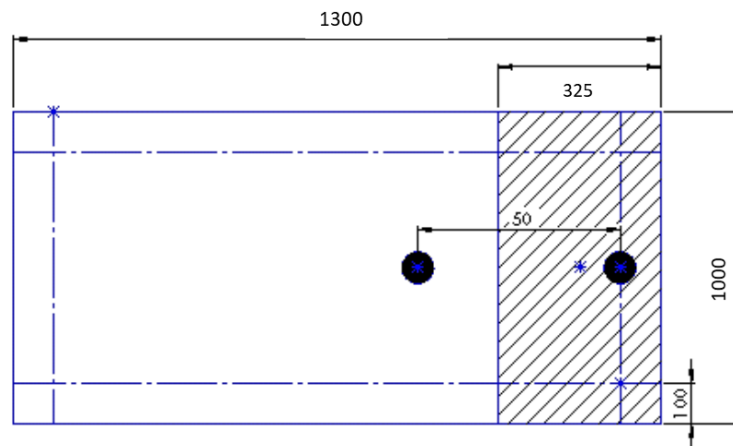


Figura 2.10. Disposición de cargas en la plataforma.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.3. Cálculo de las fuerzas de enlace en las barras, diagrama de sólido libre

Se calculan las fuerzas de enlace que originan estas cargas en la estructura de tijera, al tener clara la distribución de las fuerzas menos favorables. En este sentido, las ecuaciones deben plantearse en estados de extensión y replegada, con el fin de obtener los puntos más críticos. Es a partir de estos datos, que se dimensionarán las secciones de las barras.

Se utilizó el programa EES para el cálculo de las ecuaciones de equilibrio estático. Del mismo modo, se representarán los diagramas de sólido libre de cada estado una vez halladas las fuerzas de enlace.

#### 2.7.3.1. Estado de extensión

Las distancias generales son representadas como se puede observar en la Figura 2.11

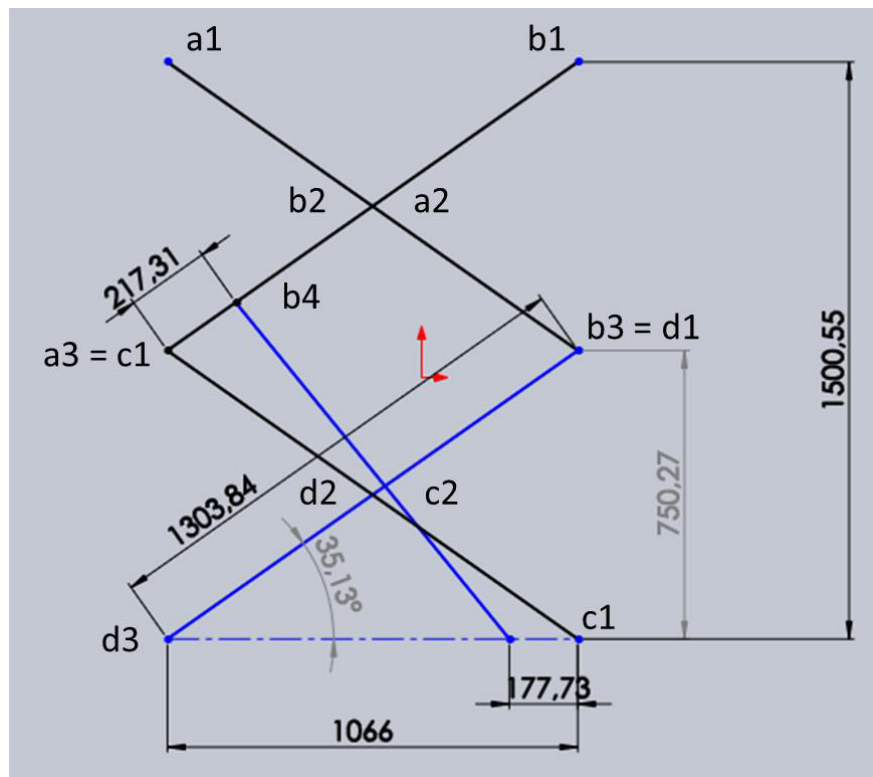


Figura 2.11. Medidas de la estructura en extensión.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Para poder determinar las distancias generales se consideran las siguientes condiciones:

- L barras=1303,84 mm que se obtuvo como resultado en el apartado anterior.



- Distancia a1-b1= 1066 mm, valor de la máxima apertura en el momento de que las tijeras están extendidas.
- El punto b4 representa el punto de unión entre las tijeras y el cilindro hidráulico, está ubicado a L/6 de los extremos.

En la figura 2.12 podemos observar las fuerzas que los usuarios y el equipamiento realizan sobre la plataforma en la posición de extensión.

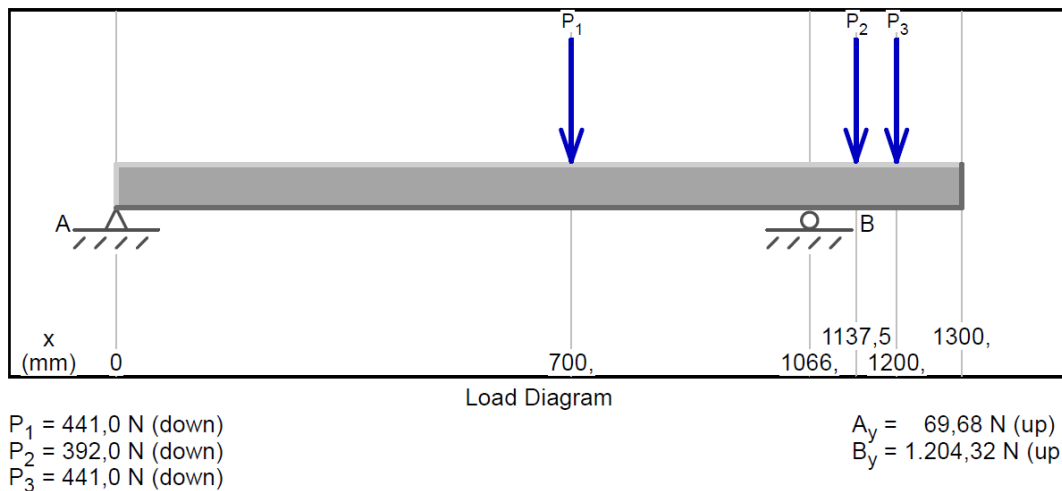


Figura 2.12. Distribución de fuerzas en plataforma.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Posterior se calcula las reacciones en los puntos “a1” y “b1”, estas reacciones se superponen en la estructura de tijeras y de esta forma se logra establecer las ecuaciones de equilibrio de las barras.

- Fuerza que ejerce un usuario:

$$F_{\text{usuarios}} = 90 * 9,81 = 882 \text{ N}$$

Este valor se divide entre 2 para centrarse en un lado de las tijeras ya que los cálculos son simétricos para la otra tijera.

$$F_{\text{usuario}} = \frac{882}{2} = 441 \text{ N}$$

Esta fuerza se aplica a 10 cm. del borde de la plataforma según se indica en la figura 2.11

- Fuerza del equipo:

$$F_{\text{equipo}} = \frac{80 * 9,81}{2} = 441 \text{ N}$$

- Área de la base de la plataforma:

$$A = 1,3 * 1 = 1,3 \text{ m}^2$$

El 25% de esta área es donde se aplica la carga uniformemente repartida del equipo:

$$0,25 * 1,3 = 0,325 \text{ m}^2$$

A continuación, se calcula el lado que falta para tener la superficie acotada:

$$\frac{0,325}{0,77} \approx 0,4 \text{ m}$$

Así, el punto de aplicación de la carga del equipo se hace a 20 cm. del borde de la plataforma, es decir en la mitad de 0,4 m.

### 2.7.3.2. Ecuaciones de equilibrio de la plataforma

$$\sum M_{a1} = 0$$

$$-441 * 700 + R_{yb1} * 1066 - 392 * 1137,5 - 441 * 1200 = 0$$

$$R_{yb1} = 1204,32 \text{ N}$$

$$R_{ya1} = 69,68 \text{ N}$$

Ahora se trasladan estas dos reacciones a la estructura de la tijera mostrada en la Figura 2.13.

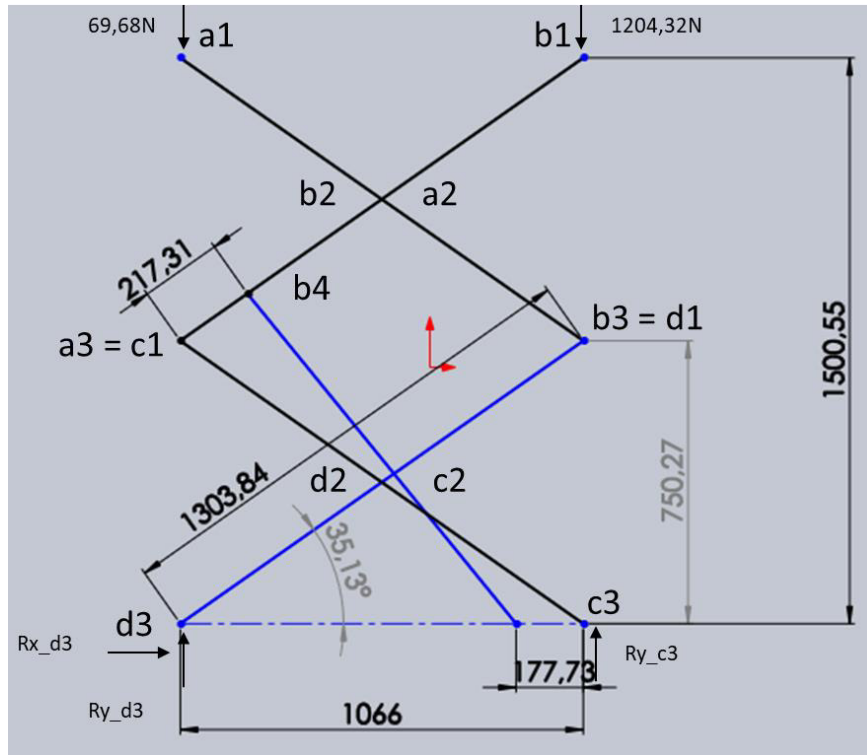


Figura 2.13. Equilibrio global de la estructura.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.3.3. Ecuaciones de equilibrio de las barras

- Equilibrio global

$$R_{yb1} = 1204,32N$$

$$R_{ya1} = 69,68N$$

$$\{Mc3\} (R_{yc3} * X_{a1a3}) - (R_{yb1} * X_{a1a3}) = 0$$

- Barra A

$$\{X\} R_{xa2} + R_{xa3} = 0$$

$$\{Y\} -R_{ya1} + R_{ya2} + R_{ya3} = 0$$

$$\{Ma3\} - (R_{xa2} * Y_{a2a3}) - (R_{ya2} * X_{a2a3}) + (R_{ya1} * X_{a1a3}) = 0$$

$$\{Ma1\} (R_{xa2} * Y_{a1a2}) + (R_{ya2} * X_{a1a2}) + (R_{ya3} * X_{a1a3}) + (R_{xa3} * Y_{a1a3}) = 0$$

- Barra B

$$\{X\} R_{xb2} + R_{xb3} + R_{xb4} = 0$$

$$\{Y\} -R_{yb1} + R_{yb2} + R_{yb3} + R_{yb4} = 0$$

$$\{Mb3\} - (R_{xb2} * Y_{b2b3}) + (R_{yb2} * X_{b2b3}) - (R_{yb1} * X_{b1b3}) + (R_{yb4} * X_{b3b4}) - (R_{xb4} * Y_{b3b4}) = 0$$

$$\{Mb1\} (R_{xb2} * Y_{b1b2}) - (R_{yb2} * X_{b1b2}) - (R_{yb3} * X_{b1b3}) + (R_{xb3} * Y_{b1b3}) - (R_{yb4} * X_{b1b4}) + (R_{xb4} * Y_{b1b4}) = 0$$

- Barra C

$$\begin{aligned} \{X\} R_{xc1} + R_{xc2} &= 0 \\ \{Y\} R_{yc1} + R_{yc2} + R_{yc3} &= 0 \\ \{Mc1\} (R_{xc2} * Y_{c1c2}) + (R_{yc2} * X_{c1c2}) + (R_{yc3} * X_{c1c3}) &= 0 \end{aligned}$$

- Barra D

$$\begin{aligned} \{X\} R_{xd1} + R_{xd2} + R_{xd3} &= 0 \\ \{Y\} R_{yd1} + R_{yd2} + R_{yd3} &= 0 \\ \{Md3\} - (R_{xd2} * Y_{d2d3}) + (R_{yd2} * X_{d2d3}) + (R_{yd1} * X_{d1d3}) - (R_{xd1} * Y_{d1d3}) &= 0 \end{aligned}$$

#### 2.7.3.4. Resultados del programa EES

Dentro de la tabla 2.12 encontramos los resultados.

Tabla 2.12. Resultados de programa EES.

Barra A	Barra B	Barra C	Barra D
Rx_a2 = -31N	Rx_b2 = 31N	Rx_c1 = 7,256N	Rx_d1 = -31N
Rx_a3 = 31N	Rx_b3 = -7,256N	Rx_c2 = -7,256N	Rx_d2 = 7,256N
Ry_a2 = 161,2N	Rx_b4 = -23,74N	Ry_c1 = 6390N	Rx_d3 = 23,74N
Ry_a3 = -91,49N	Ry_b2 = -161,2N	Ry_c2 = -12785N	Ry_d1 = 91,49N
	Ry_b3 = -6390N	Ry_c3 = 6395N	Ry_d2 = 12785N
	Ry_b4 = 7755N		Ry_d3 = -12876N

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

El punto "b4" corresponde al punto de unión entre las tijeras y el cilindro hidráulico.

$$F_{b4} = \sqrt{(-23,74)^2 + (7755)^2} = 7755,04 \text{ N}$$

$$L_{\text{cilindro}} = 1127,63 \text{ mm}$$

En la figura 2.14 podemos observar el diagrama de sólido libre en posición de extensión.

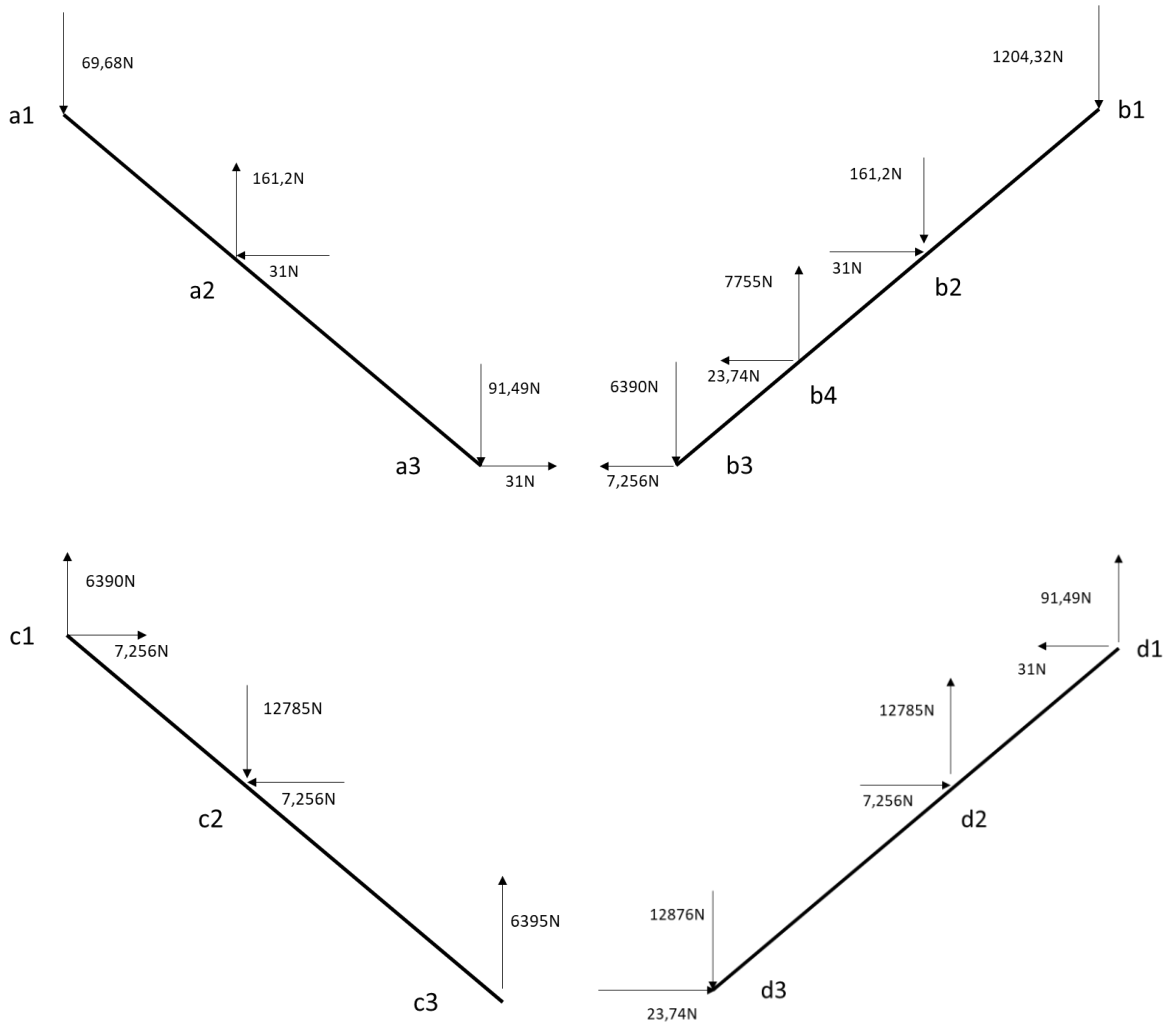


Figura 2.14. Diagrama de sólido libre en extensión.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.3.5. Estado replegado

La distribución de fuerzas de los usuarios y del equipamiento sobre la plataforma son considerados para este cálculo. (Figura 2.15).

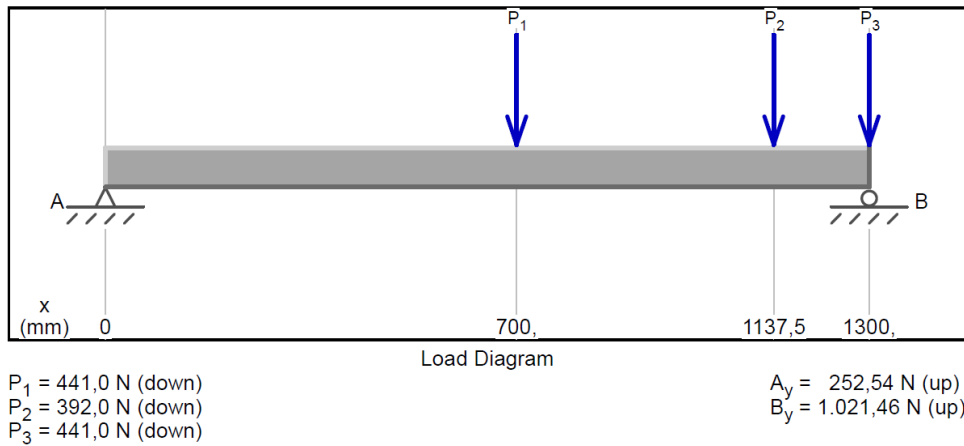


Figura 2.15. Distribución de fuerzas, estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.3.6. Ecuaciones de equilibrio de la plataforma

Sea;

$$\sum M_{a1} = 0$$

$$-441 * 700 + R_{yb1} * 1300 - 392 * 1137,5 - 441 * 1200 = 0$$

$$R_{yb1} = 987,54 \text{ N}$$

$$R_{ya1} = 286,46 \text{ N}$$

Se trasladan estas reacciones a la tijera (figura 2.16)

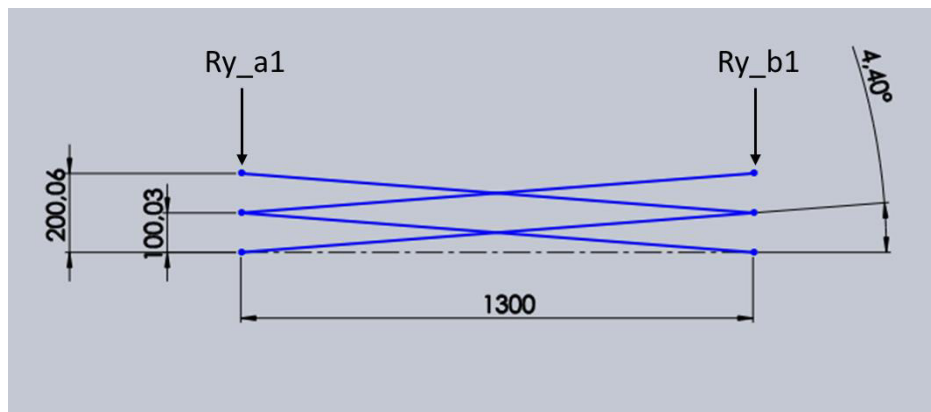


Figura 2.16. Equilibrio global de la estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.3.7. Ecuaciones de equilibrio de las barras

- Equilibrio global

$$R_{yb1} = 987,54\text{N}$$

$$R_{ya1} = 286,46\text{N}$$

$$\{Mc3\} (R_{yc3} * X_{a1a3}) - (R_{yb1} * X_{a1a3}) = 0$$

- Barra A

$$\{X\} R_{xa2} + R_{xa3} = 0$$

$$\{Y\} -R_{ya1} + R_{ya2} + R_{ya3} = 0$$

$$\{Ma3\} - (R_{xa2} * Y_{a2a3}) - (R_{ya2} * X_{a2a3}) + (R_{ya1} * X_{a1a3}) = 0$$

$$\{Ma1\} (R_{xa2} * Y_{a1a2}) + (R_{ya2} * X_{a1a2}) + (R_{ya3} * X_{a1a3}) + (R_{xa3} * Y_{a1a3}) = 0$$

- Barra B

$$\{X\} R_{xb2} + R_{xb3} + R_{xb4} = 0$$

$$\{Y\} -R_{yb1} + R_{yb2} + R_{yb3} + R_{yb4} = 0$$

$$\{Mb3\} - (R_{xb2} * Y_{b2b3}) + (R_{yb2} * X_{b2b3}) - (R_{yb1} * X_{b1b3}) + (R_{yb4} * X_{b3b4}) - (R_{xb4} * Y_{b3b4}) = 0$$

$$\{Mb1\} (R_{xb2} * Y_{b1b2}) - (R_{yb2} * X_{b1b2}) - (R_{yb3} * X_{b1b3}) + (R_{xb3} * Y_{b1b3})$$

$$- (R_{yb4} * X_{b1b4}) + (R_{xb4} * Y_{b1b4}) = 0$$

- Barra C

$$\{X\} R_{xc1} + R_{xc2} = 0$$

$$\{Y\} R_{yc1} + R_{yc2} + R_{yc3} = 0$$

$$\{Mc1\} (R_{xc2} * Y_{c1c2}) + (R_{yc2} * X_{c1c2}) + (R_{yc3} * X_{c1c3}) = 0$$

- Barra D

$$\{X\} R_{xd1} + R_{xd2} + R_{xd3} = 0$$

$$\{Y\} R_{yd1} + R_{yd2} + R_{yd3} = 0$$

$$\{Md3\} - (R_{xd2} * Y_{d2d3}) + (R_{yd2} * X_{d2d3}) + (R_{yd1} * X_{d1d3}) - (R_{xd1} * Y_{d1d3}) = 0$$

### 2.7.3.8. Resultados del programa EES

En la tabla 2.13 tenemos el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2.13 Resultados de programa EES.

Barra A	Barra B	Barra C	Barra D
$Rx_{a2} = -948,3N$	$Rx_{b2} = 948,3N$	$Rx_{c1} = 0.5686N$	$Rx_{d1} = -948,3N$
$Rx_{a3} = 948,3N$	$Rx_{b3} = -0,5686N$	$Rx_{c2} = -0,5686N$	$Rx_{d2} = 0,5686N$
$Ry_{a2} = 645,9N$	$Rx_{b4} = -947,7N$	$Ry_{c1} = 6375N$	$Rx_{d3} = 947,7N$
$Ry_{a3} = -359,4N$	$Ry_{b2} = -645,9N$	$Ry_{c2} = -12750N$	$Ry_{d1} = 359,4N$
	$Ry_{b3} = -6375N$	$Ry_{c3} = 6375N$	$Ry_{d2} = 12750N$
	$Ry_{b4} = 8009N$		$Ry_{d3} = -13109N$

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la figura 2.17 se observa el diagrama de sólido libre en posición replegada

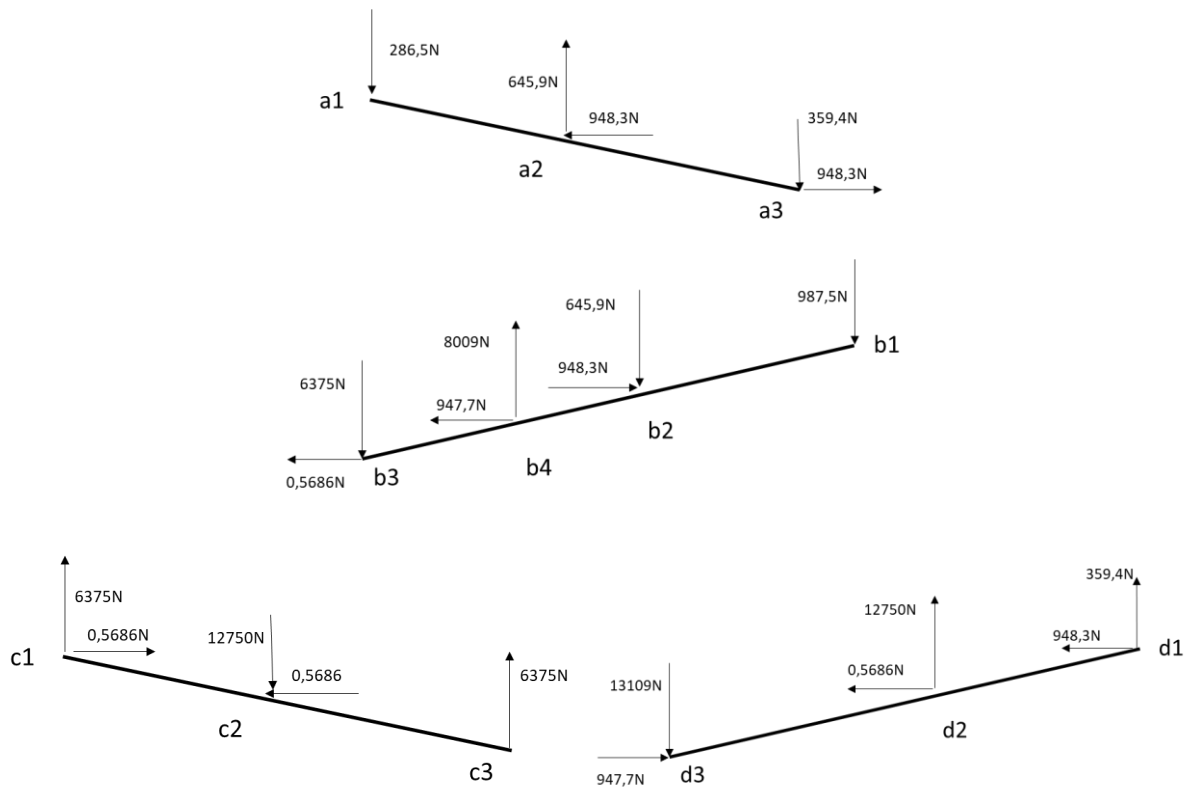


Figura 2.17. Diagrama de sólido libre, estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021].



En el diagrama se observa que las barras con más cargas son las "b" y "d" y el punto que tiene las mayores fuerzas de enlace es "c1=b3" ubicado en la barra "b":

$$F_{b3,c1} = \sqrt{(0,5686)^2 + (6375)^2} = 6375 \text{ N}$$

Para el cálculo de la fuerza y longitud del cilindro hidráulico en estado replegado tenemos la siguiente ecuación

$$F_{\text{cilindro}} = \sqrt{(-947,7)^2 + (8009)^2} = 8064,88\text{N}$$

$$L_{\text{cilindro}} = 913,08\text{mm}$$

### 2.7.4 Diagrama de esfuerzo de la plataforma, estado de extensión

La barra que va de "a1" a "b1" representa la plataforma (figura 2.18).

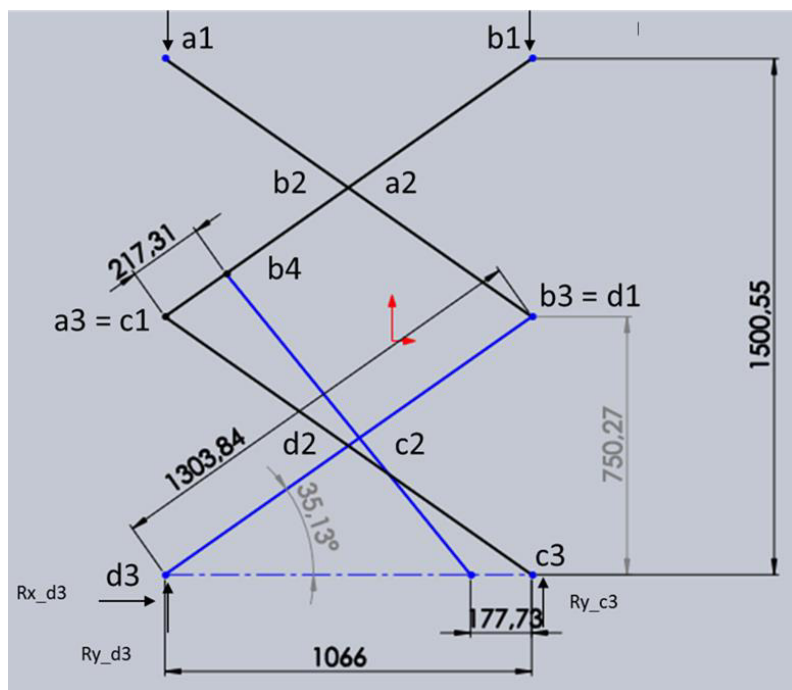


Figura 2.18. Plataforma de trabajo en extensión.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la figura 2.19 se representa el diagrama de cuerpo libre de la plataforma.

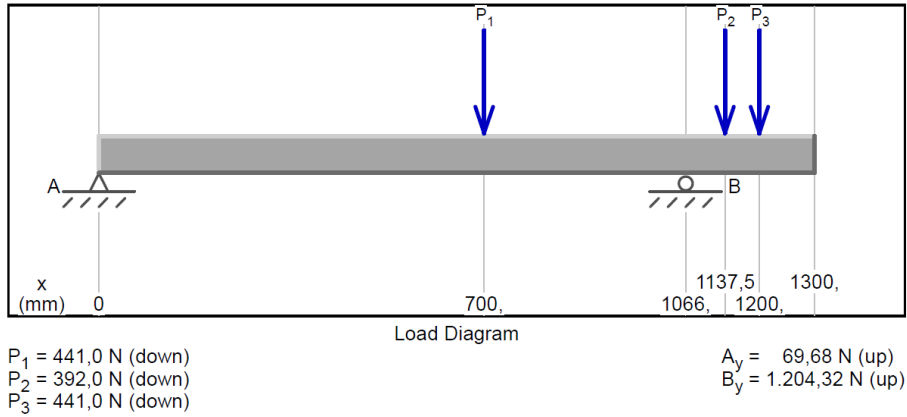


Figura 2.19. Diagrama de cuerpo libre de plataforma, estructura extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la figura 2.20 observamos la representación de los esfuerzos cortantes de la plataforma

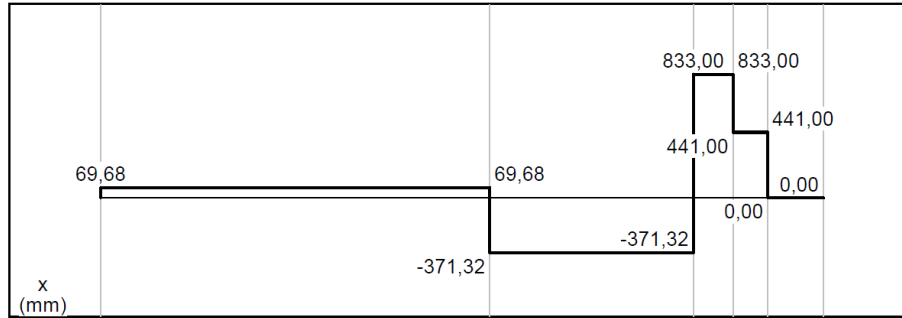


Figura 2.20. Esfuerzos cortantes en plataforma, estructura extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la figura 2.21 observamos el diagrama de momento flector.

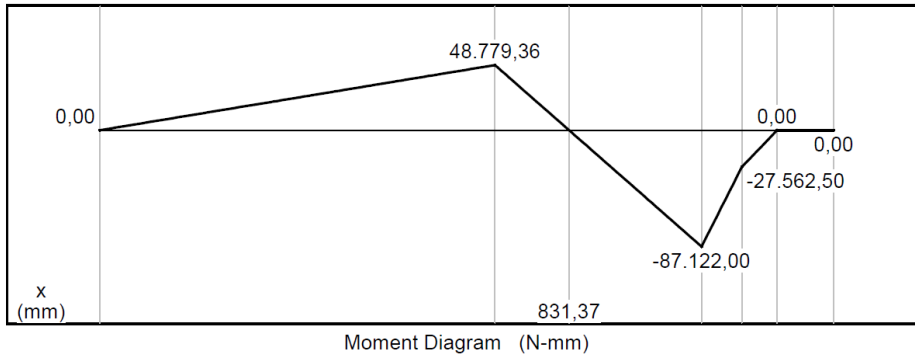


Figura 2.21. Momento flector en plataforma, estructura extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Analizando cada una de las gráficas se puede llegar a la conclusión de que el punto más desfavorable se ubica a 1066 mm del punto A.

Resultados en MEFI en este punto:

$$\text{Axial} = 0$$

$$\text{Cortante} = 833 \text{ N}$$

$$\text{Momento Flector} = 87,12 \text{ [Nm]}$$

### 2.7.5 Diagrama de esfuerzo de la plataforma, estado replegada

En la Figura 2.22, Figura 2.23 y en la Figura 2.24 se representan los diagramas de cuerpo libre, esfuerzos cortantes y momento flector, respectivamente, de la estructura replegada.

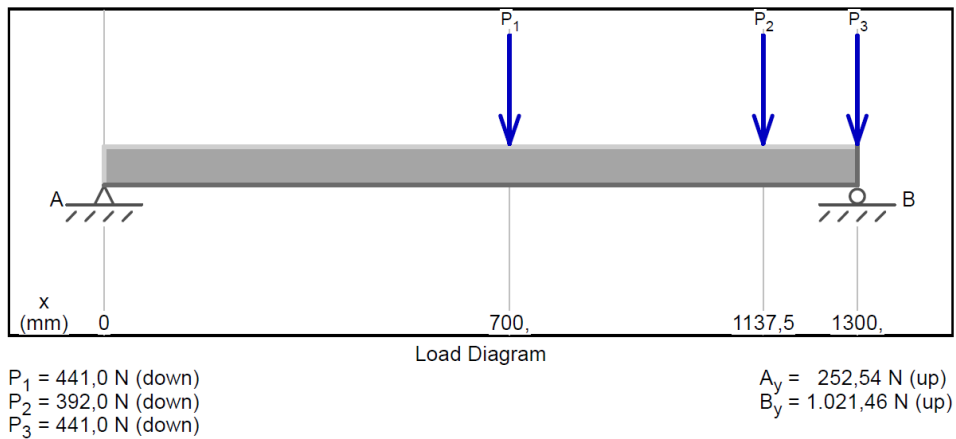


Figura 2.22. Diagrama de cuerpo libre de plataforma replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

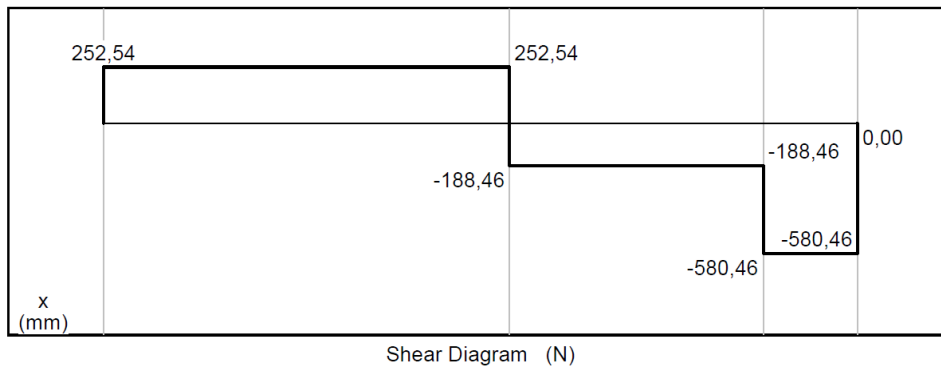


Figura 2.23. Esfuerzos cortantes en plataforma replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

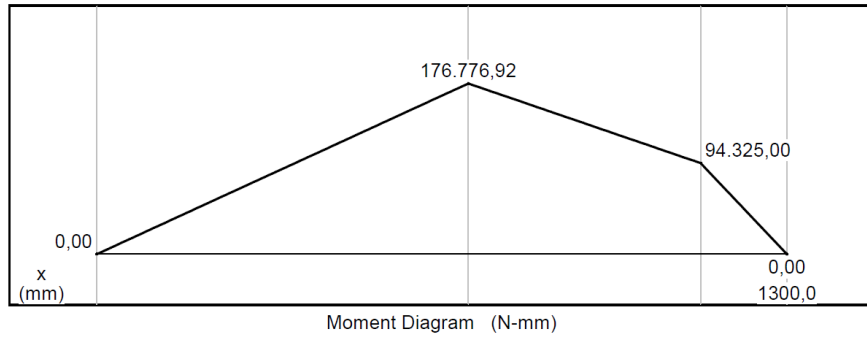


Figura 2.24. Momento flector en plataforma plegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Analizando cada una de las gráficas se puede llegar a la conclusión de que el punto más desfavorable se ubica a 700mm del punto A.

Resultados en MEFI en este punto:

$$\text{Axial} = 0$$

$$\text{Cortante} = 252,54 \text{ N}$$

$$\text{Momento Flector} = 176,78 \text{ [Nm]}$$

### 2.7.6. Diagrama de esfuerzos de las barras más solicitadas, estado de extensión

En estado de extensión los diagramas de esfuerzos las barras con más cargas se pueden observa en la Figura 2.25.

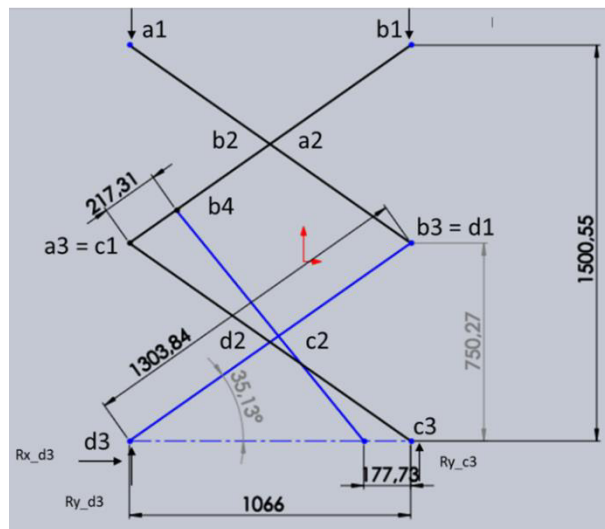


Figura 2.25. Barras más solicitadas en plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.6.1. Diagrama de esfuerzos de la barra b

En las Figura 2.26, la Figura 2.27 y Figura 2.28 se muestran los esfuerzos axiales, esfuerzos cortantes y momento flector, respectivamente, en la barra b cuando la plataforma se encuentra completamente extendida.

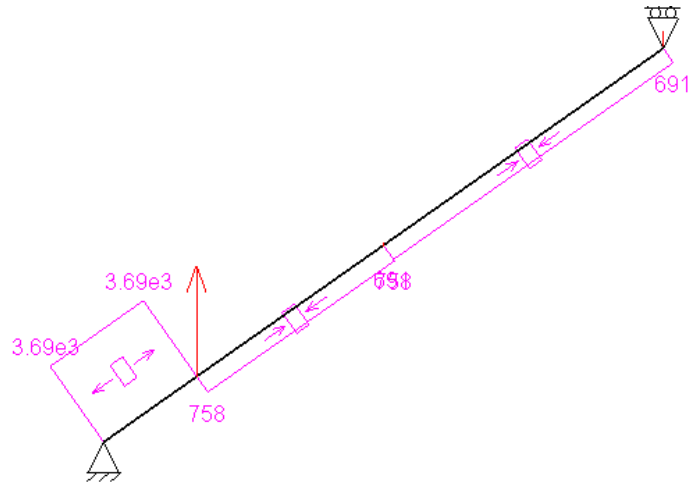


Figura 2.26. Esfuerzos axiales en barra b, plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

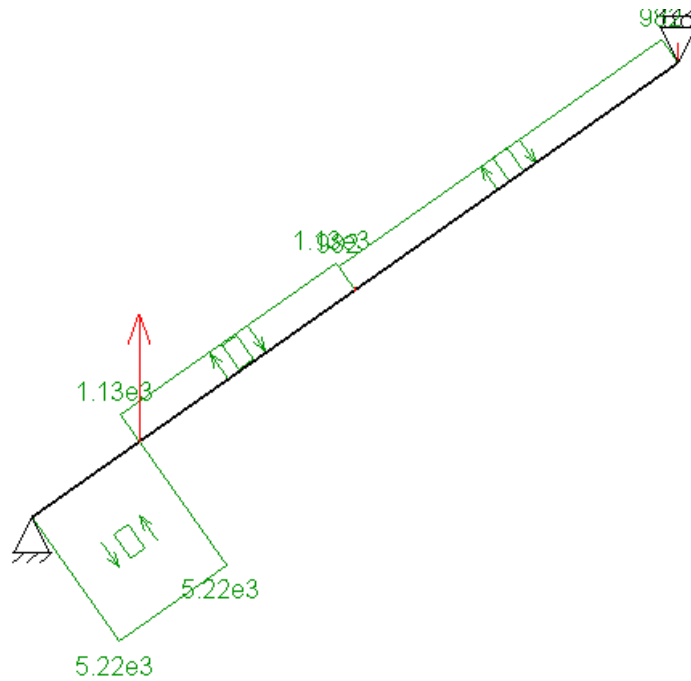


Figura 2.27. Esfuerzos cortantes en barra b, plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

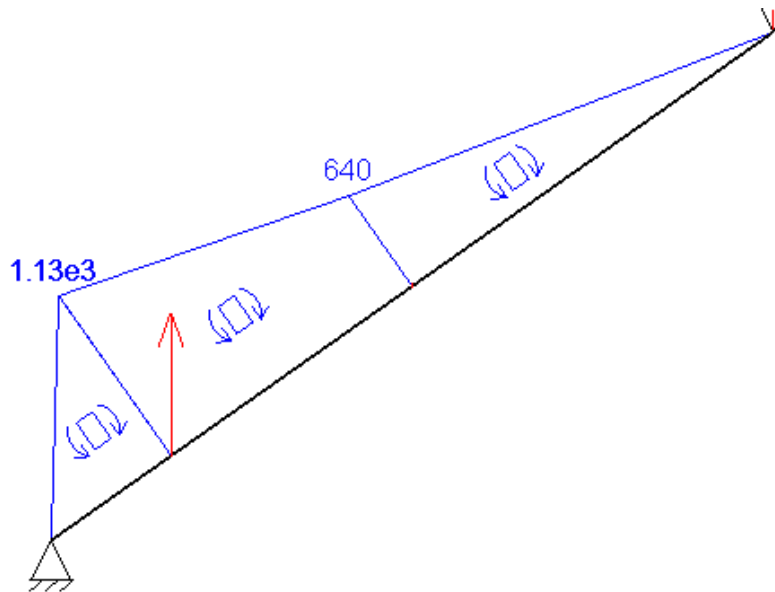


Figura 2.28. Momento flector en barra b, plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Analizando las gráficas observamos que el punto con más cargas en la barra “b” es el punto “b4” .

Resultados en MEFI para este punto:

$$\text{Axial} = 3690\text{N}$$

$$\text{Cortante} = 5220\text{N}$$

$$\text{Momento Flector} = 1130 \text{ [Nm]}$$

### 2.7.6.2. Diagrama de esfuerzos en la barra d

En las Figura 2.29, Figura 2.30 y Figura 2.31 se representan los esfuerzos axiales, los esfuerzos cortantes y el momento flector en la barra d, respectivamente, con la estructura extendida.

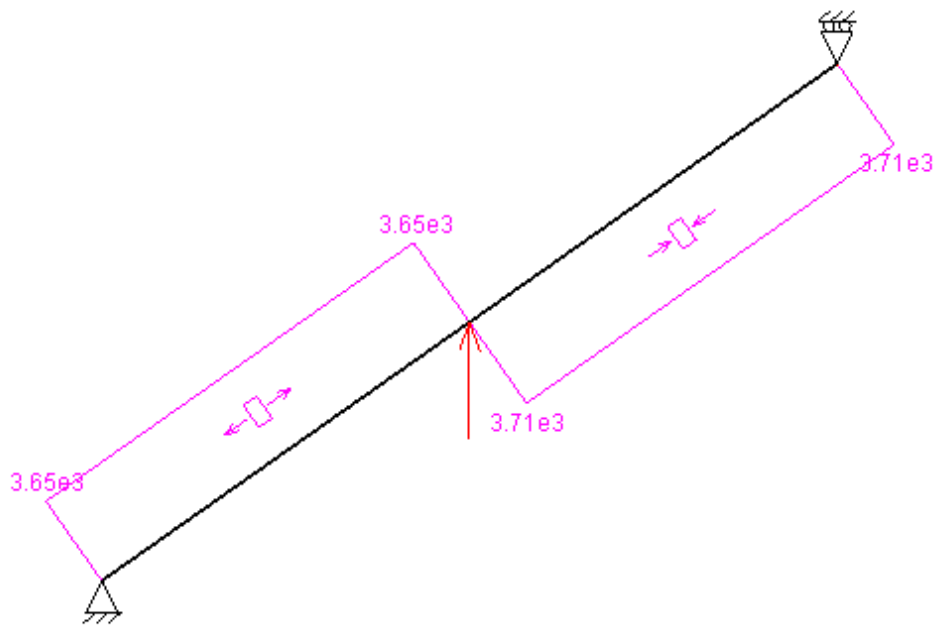


Figura 2.29. Esfuerzos axiales en barra d, plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

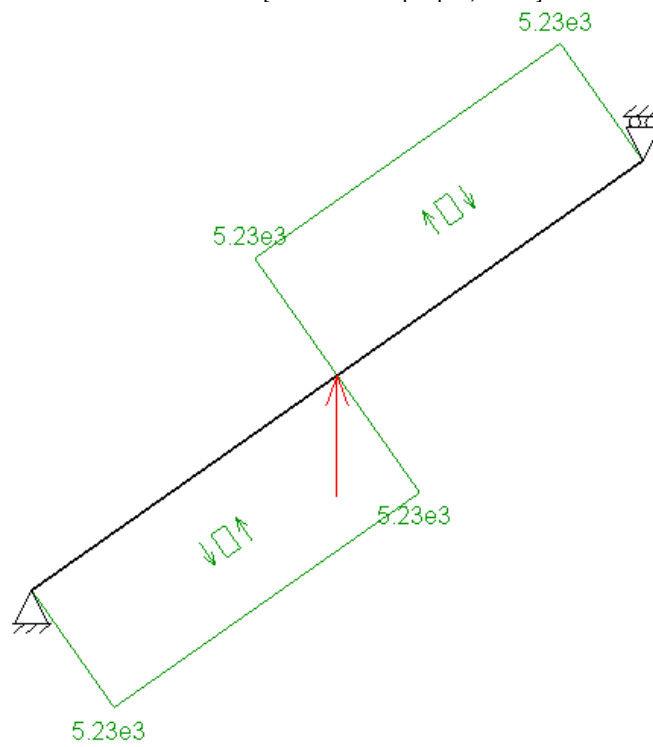


Figura 2.30. Esfuerzos cortantes en barra d, plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

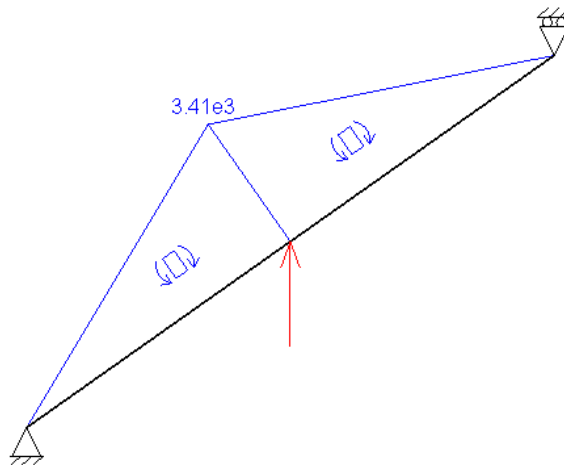


Figura 2.31. Momento flector en barra d, plataforma extendida.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Analizando las gráficas observamos que el punto más solicitado en la barra “d” es el punto “d2”.

Resultados en MEF1 para este punto:

$$\text{Axial} = 3710 \text{ N}$$

$$\text{Cortante} = 5230 \text{ N}$$

$$\text{Momento Flector} = 3410 \text{ [Nm]}$$

### 2.7.7. Diagrama de esfuerzos de las barras más solicitadas, estado replegada

En la Figura 2.32 se proyecta el diagrama de barras con más cargas en estado replegada.

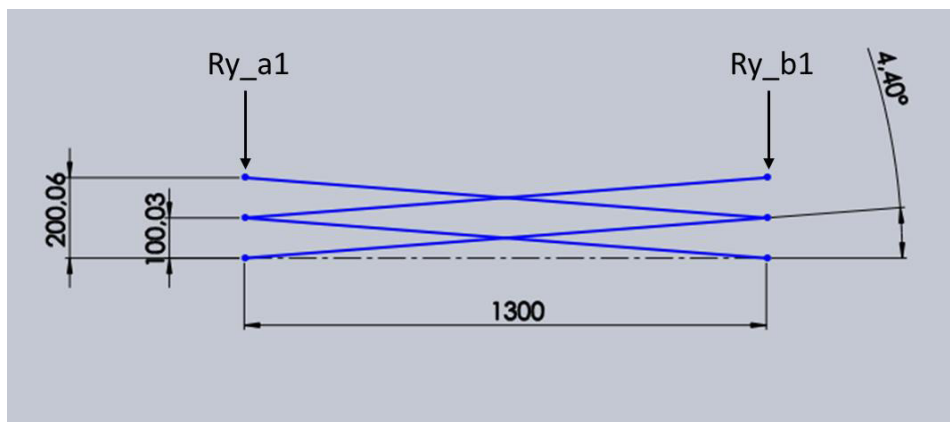


Figura 2.32. Barras más solicitadas, estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]



### 2.7.7.1. Diagrama de esfuerzos en la barra b

En la Figura 2.33, Figura 2.34 y Figura 2.35 se pueden observar los esfuerzos axiales, esfuerzos cortantes y momento flector, respectivamente, de la barra b con la estructura replegada.

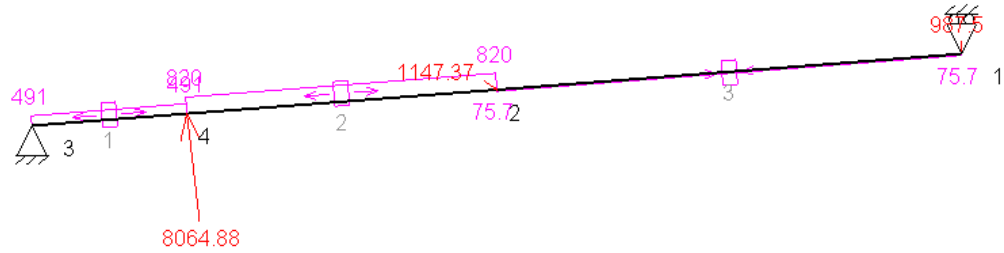


Figura 2.33. Esfuerzos axiales en barra b, estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

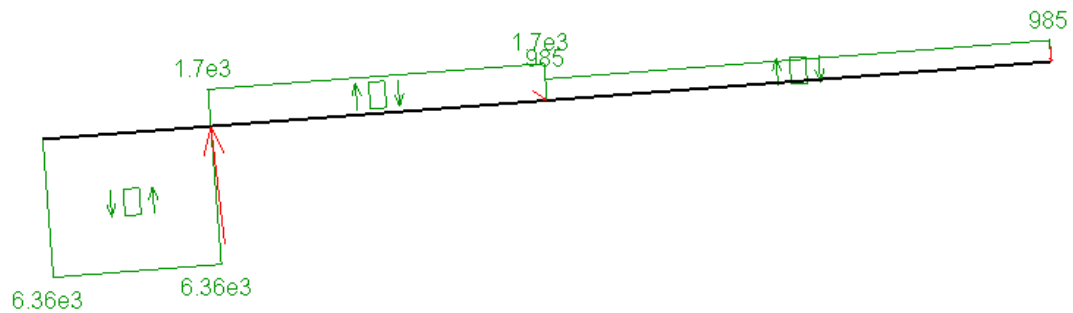


Figura 2.34. Esfuerzos cortantes en barra b, estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

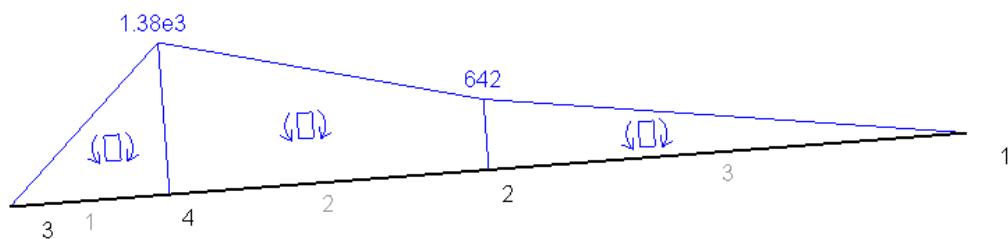


Figura 2.35. Momento flector en barra b, estructura replegada.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Analizando las gráficas observamos que “b4” es el punto con más cargas en la barra.

Resultados en MEFI para este punto:

$$\text{Axial} = 820 \text{ N}$$

$$\text{Cortante} = 6360 \text{ N}$$

$$\text{Momento Flector} = 1380 \text{ [Nm]}$$

### 2.7.8. Cálculo de la sección de las barras

A continuación, se detallarán los diagramas de esfuerzos de cada eslabón, consecuencia de las fuerzas de enlace. Estos diagramas determinarán el punto más crítico; es decir, el punto donde existen mayor concentración de tensión. En la sección de los eslabones producto de las fuerzas de enlace, ocurren 3 esfuerzos: axial, cortante y momento flector. Los esfuerzos en la sección de las barras se visualizan en la Figura 2.36.

La barra por utilizar es rectangular hueca, por lo que el más resaltante y determinante al momento de realizar el dimensionamiento de la sección, son las resultantes al componente normal del esfuerzo del momento flector y el esfuerzo axial, ya que son las que dan origen a la tensión de trabajo máximo. La suma de estos esfuerzos resulta de una sola tensión en el eje X. Los esfuerzos cortantes causadas por el momento flector y las fuerzas cortantes, se consideran nulos en cada extremo de la sección, en consecuencia, no son considerados para los cálculos.

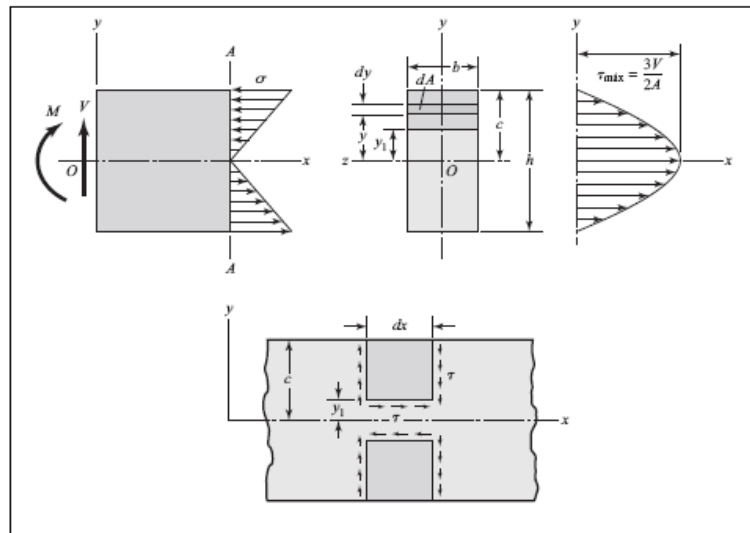


Figura 2.36. Esfuerzos en la sección de barras.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

La tensión equivalente de Von Mises es:

$$\sigma_{\text{eqv}} = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 * (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}}{2}$$

De esta manera, como en X existe sólo un componente, entonces la tensión equivalente en P es igual a la tensión de trabajo en X.

$$\sigma_{\text{eqv}} = \sigma_{\text{Xtrabajo}}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_{\text{eqv}}}$$

$$\sigma_{\text{Xtrabajo}} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_x}{A} \leq \frac{\sigma_F}{C_s}$$

A continuación, se realiza un análisis a los diagramas de esfuerzos en cada situación de la plataforma elevadora (en estado extendida y en estado replegada).

Para calcular estos diagramas, se hace uso de los programas de elementos finitos MEF1 y MD Solids.

### 2.7.8.1. Diagrama de esfuerzos de la plataforma de trabajo

En la Figura 2.37 se muestra la plataforma de trabajo.

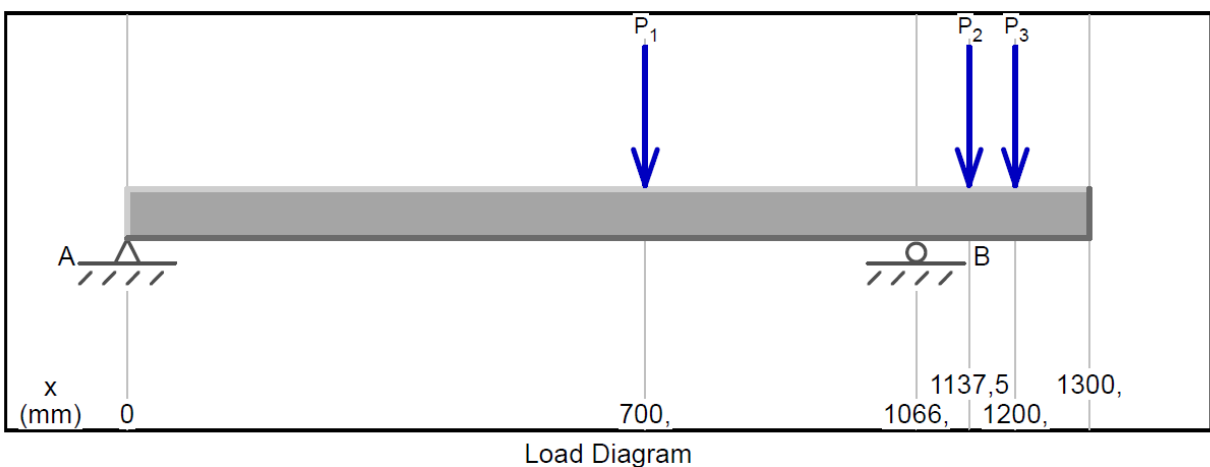


Figura 2.37. Representación de la plataforma de trabajo en MD Solids.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Se comparan los puntos de tensión máxima encontrados en los diagramas de esfuerzos en los estados de extensión y replegada (Puntos 2.7.4 y 2.7.5), para de esta forma obtener el estado más crítico (Tabla 2.14).

Tabla 2.14 Comparación de esfuerzos entre estados.

Estado	Extendida	Replegada
Axial [N]	0	0
Cortante [N]	833	252,54
Momento Flector [Nm]	87,12	176,78

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.8.2. Diagrama de esfuerzo de las barras, estado de extensión

Como resultado de la simulación global de la estructura (puntos 2.7.6 y 2.7.7) tenemos que las barras “b” y “d” son las que ofrecen los mayores esfuerzos.

De entre estas barras, la barra “d” es la que tiene más cargas ya que tiene el momento flector con mayor valor (Tabla 2.15)

Tabla 2.15 Comparación de esfuerzos entre estados.

Estado	Barra B	Barra D
Axial [N]	3690	3719
Cortante [N]	5220	5230
Momento Flector [Nm]	1130	3410

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Al analizar de forma detallada, es notable que el punto “d2” es el punto con más cargas en la barra "d".

Resultados del programa MEF1 en "d2":

$$\text{Axial} = 3710 \text{ N}$$

$$\text{Cortante} = 5230 \text{ N}$$

$$\text{Momento Flector} = 3410 \text{ [Nm]}$$

### 2.7.8.3. Diagrama de esfuerzo de las barras, estado replegada

Como resultado de la simulación se observó que la barra “b” es la que mayor esfuerzo ofrece.

El punto “b4” es el punto con más cargas en la barra b. (punto 2.7.7).

Resultados del programa MEFI en "b4":

$$\text{Axial} = 820 \text{ N}$$

$$\text{Cortante} = 6360 \text{ N}$$

$$\text{Momento Flector} = 1380 \text{ [Nm]}$$

Después de obtener los puntos críticos en extensión y estado replegado, se procede a realizar una comparación entre estos.

En la Tabla 2.16 se observa que el estado más crítico es el extendido por lo que se procede a realizar el dimensionamiento a partir de ese estado.

Tabla 2.16. Comparación de esfuerzos entre estados.

Estado	Extendida	Replegada
Axial [N]	3710	820
Cortante [N]	5230	6360
Momento Flector [Nm]	3410	1380

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Para definir la sección, se procede a determinar el material y el coeficiente de seguridad.

### 2.7.9. Material de las barras

Para efectos de cálculo, se hace uso de un acero ASTM A1011-340, el cual es un acero presente en el mercado nacional. “Es uno de los aceros más ampliamente utilizados en el mundo, en la confección y diseño de estructuras metálicas, viene principalmente en láminas o bobinas, que son obtenidas mediante un proceso de rolado en caliente. Pertenecen a los aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica (HSLAS).” (SUMITEC, s/f). En la Figura 2.38 se muestra las propiedades mecánicas.

Grado	Limite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación % <sup>b)</sup>	Composición máx. %			
				C	Mn	P	S
AC Tipo B	205 a 340	---	≥ 25	0,02 A 0,15	0,60	0,030	0,035
230	230	360	18	0,2	0,90	0,03	0,04
250	250	365	17	0,2	0,90	0,03	0,04
275	275	380	16	0,2	0,90	0,03	0,04
310	310	410	13	0,2	1,35	0,03	0,04
340	340	450	11	0,2	1,35	0,03	0,04
550	550	620	6	0,2	1,35	0,03	0,04

Figura 2.38. Características mecánicas de acero ASTM-A1011-340

Fuente: (SUMITEC, s/f)

La tensión de fluencia de este acero es de:

$$\sigma_f = 340\text{MPa}$$

### 2.7.10. Elección del coeficiente de seguridad

Debido a que al realizar el análisis estático de una estructura no se abarcan todos los factores que pueden tener influencia a la hora de caracterizar la resistencia real de un material, se suele hacer uso de un factor de seguridad y así sobredimensionar y, de esta manera, asegurar el correcto funcionamiento de una pieza o estructura.

Para elegir un coeficiente de seguridad para el cálculo en la estructura, se hace en función del tipo de carga, tal como se indica en la Figura 2.39.

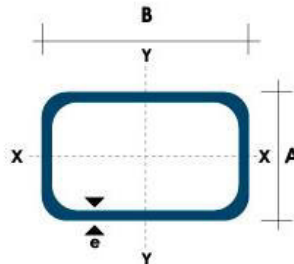
TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima*	
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 - 4	1.5 - 2	5 - 6	7

Figura 2.39. Coeficientes de seguridad en cálculos estáticos.

Fuente: (UTP, 2016)

Al seleccionar como material un acero se selecciona un factor de seguridad de 3.

Ya definidos el material y coeficiente de seguridad, se comienza a calcular la sección de los eslabones. Para ello, se hace uso del criterio de Von Mises, para lo cual se acude al catálogo de perfiles rectangulares suministrado por Productos de Acero DIPAC (Figura 2.40).



Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.56	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.66	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.91	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.16	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15

Figura 2.40. Perfiles huecos rectangulares.

Fuente: (DIPAC, 2021)

Para el cálculo de la sección se usa el criterio de Von Mises con el factor de seguridad establecido con anterioridad, para esto tomaremos como referencia la figura 2.40.

Primero se desprecia el axial para acercarse al perfil requerido.

$$\frac{M_z}{W_z} \leq \frac{\sigma_F}{C_s} = \frac{3410 \text{ N.m}}{W_z} \leq \frac{355 * 10^6 \text{ N/m}^2}{3} \rightarrow W_z \geq 28,82 \text{ cm}^3$$

Se escoge el perfil 150 x 50 x 3 cuyas características son las siguientes:

$$\text{Módulo de resistencia: } W_z = 39,78 \text{ cm}^3$$

$$\text{Área: } A = 11,41 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{extrabajo}} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_x}{A} = \frac{3410 \text{ N.m}}{39,78 * 10^{-6} \text{ m}^3} + \frac{3710 \text{ N}}{1,14 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 88,98 \text{ MPa}$$

Este valor es menor que la tensión de trabajo máximo:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{355 \text{ MPa}}{3} = 118,33 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, con la selección de este perfil, se cumple con la condición de asegurar un coeficiente de seguridad de 3.

### 2.7.11. Dimensionamiento del cilindro hidráulico

Se requiere realizar el diseño de un cilindro hidráulico de simple efecto de apoyos soldados, con características similares al representado en Figura 2.41. Para lo cual se procede con la selección de los materiales y el cálculo de las dimensiones principales de los siguientes elementos: émbolo, vástago y cuerpo del cilindro. Simultáneamente se procede a la elección de una bomba hidráulica para en base esto explicar de forma breve el funcionamiento del circuito básico.



Figura 2.41. Cilindro hidráulico de simple efecto.

Fuente: (hydraulics, BASTYMEC, s.f.)



Para comenzar con el diseño, se necesita calcular el valor de fuerza máxima que será realizada por el cilindro. Esta fuerza actúa en estado replegada.

La fuerza máxima del cilindro en una de las tijeras, es decir, las de un lado, es de:

$$F_{\max\text{Cil}} = \sqrt{(947,7)^2 + (8009)^2} = 8064,88 \text{ N}$$

La fuerza total del cilindro es, por lo tanto:

$$F_{\max\text{Cil}} = 8064,88 * 2 = 16129,76\text{N} \approx 16130\text{N}$$

Para el cálculo de la carrera del cilindro se restan las longitudes del cilindro calculados con anterioridad en los estados replegado y extensión.

$$L_{\text{carrera}} = L_{\text{cilExt}} - L_{\text{cilComp}} = 1127,63 - 913,08 = 214,55\text{mm} \approx 215\text{mm}$$

Para realizar el dimensionamiento del cilindro hidráulico se toman los datos de presión y caudal de la Figura 2.42.

Displacement	4 gallons per minute 15 liters per minute (2500 psi/172 bar)
--------------	--

Figura 2.42. Características de bomba hidráulica, Genie GS-1530.

Fuente: (Grupo Metinvest, 2021)

$$P_{\text{bomba}} = 172 \text{ bar}$$

$$Q_{\text{bomba}} = 15 \text{ l/min}$$

### 2.7.11.1. Dimensionamiento del pistón a partir de la fuerza máxima del cilindro

Para realizar el cálculo del diámetro del pistón, se procede a realizar la igualación de las fuerzas máxima realizada por el cilindro y la de avance.

$$F_{\text{máximaCilindro}} = F_{\text{avance}} = 16130 \text{ N}$$

$$F_{\text{avance}} = \frac{P(\text{bares}) * \text{Area}_p(\text{mm}^2)}{9,81 \text{ bar/MPa}} ; \text{Area}_p = \frac{\pi}{4} * D^2 \rightarrow F_{\text{avance}} = \frac{P(\text{bares}) * \pi * D^2(\text{mm})}{9,81 \text{ bar/MPa} * 4}$$

$$D_{\text{pistón}} = \sqrt{\frac{16130 * 9,81 * 4}{172 * \pi}} = 34,22 \text{ mm}$$

A continuación, se selecciona un diámetro normalizado de la Figura 2.43.

Ø pistón [mm]	Ø vástago [mm]
16	10
25	16
32	20
40	25
50	32
63	40
80	50
100	60
125	80
160	100
200	125

Figura 2.43. Cruce normalizado entre diámetros de pistón y vástago.

Fuente: (ROEMHELD, 2021)

Se escoge un diámetro normalizado que sea inmediatamente superior al calculado, en este caso se selecciona un diámetro de 40 mm.

$$D_{\text{piston}} = 40 \text{ mm}$$

$$A_{\text{piston}} = 1256,64 \text{ mm}^2 \approx 1257 \text{ mm}^2$$

Se recalcula la presión para comprobar que la selección realizada podrá hacer frente a ello:

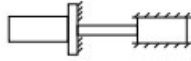
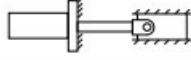

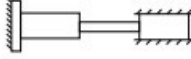
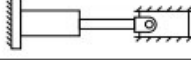
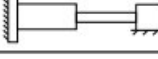
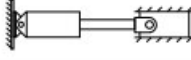

$$P_{\text{avance}} = \frac{16130 \text{ N} * 9,81 \text{ bar/MPa}}{1257 \text{ mm}^2} = 1255,88 \text{ bar}$$

$$P_{\text{avance}} = 125,88 \text{ bar} < 172 \text{ bar} = P_{\text{bomba}}$$

### 2.7.11.2. Dimensionamiento del vástago

Para el dimensionamiento del vástago se necesita determinar los valores de: factor de pandeo y longitud de pandeo. El primero se determina a partir de la Tabla 2.17.

Tabla 2.17. Factor de carrera cilindros hidráulicos.

FIJACIÓN DEL CILINDRO CYLINDER MOUNTING	FIJACIÓN EXTREMO VÁSTAGO PISTON ROD END	REPRESENTACIÓN DEL MONTAJE MOUNTING REPRESENTATION	k
BRIDA DELANTERA (TIPO A) FRONT FLANGE (FORM A)	Fijado y guía rígida Fixed and rigid guide		0,5
	Articulado y guía rígida Jointed and rigid guide		0,7
	Apoyado y guía no rígida Supported and non rigid guide		2
BRIDA TRASERA (TIPO B) REAR FLANGE (FORM B)	Fijado y guía rígida Fixed and rigid guide		1
	Articulado y guía rígida Jointed and rigid guide		1,5
	Apoyado y guía no rígida Supported and non rigid guide		4
POR CHARNELA (TIPO C/D) CELVIS (FORM C/D)	Fijado y guía rígida Fixed and rigid guide		2
	Articulado y guía no rígida Jointed and non rigid guide		4

Fuente: (MACHEN PERÚ, 2021)

En referencia con la Tabla 2.17 se determina que la fijación del cilindro coincide con lo descrito en la imagen como “Fijado y guía rígida” por lo que se define como valor del factor de pandeo 2 es decir:  $\beta = 2$ .

Se procede a realizar el cálculo de la longitud de pandeo:

$$L_{\text{pandeo}} = L_{\text{carrera}} * \beta$$

$$L_{\text{pandeo}} = 215\text{mm} * 2$$

$$L_{\text{pandeo}} = 430\text{mm}$$

Seguido a esto para obtener el valor del diámetro del vástago se dirige a la (Figura 2.44) teniendo como datos de entrada la longitud de pandeo, la fuerza máxima del cilindro y un factor de seguridad de 2.5.

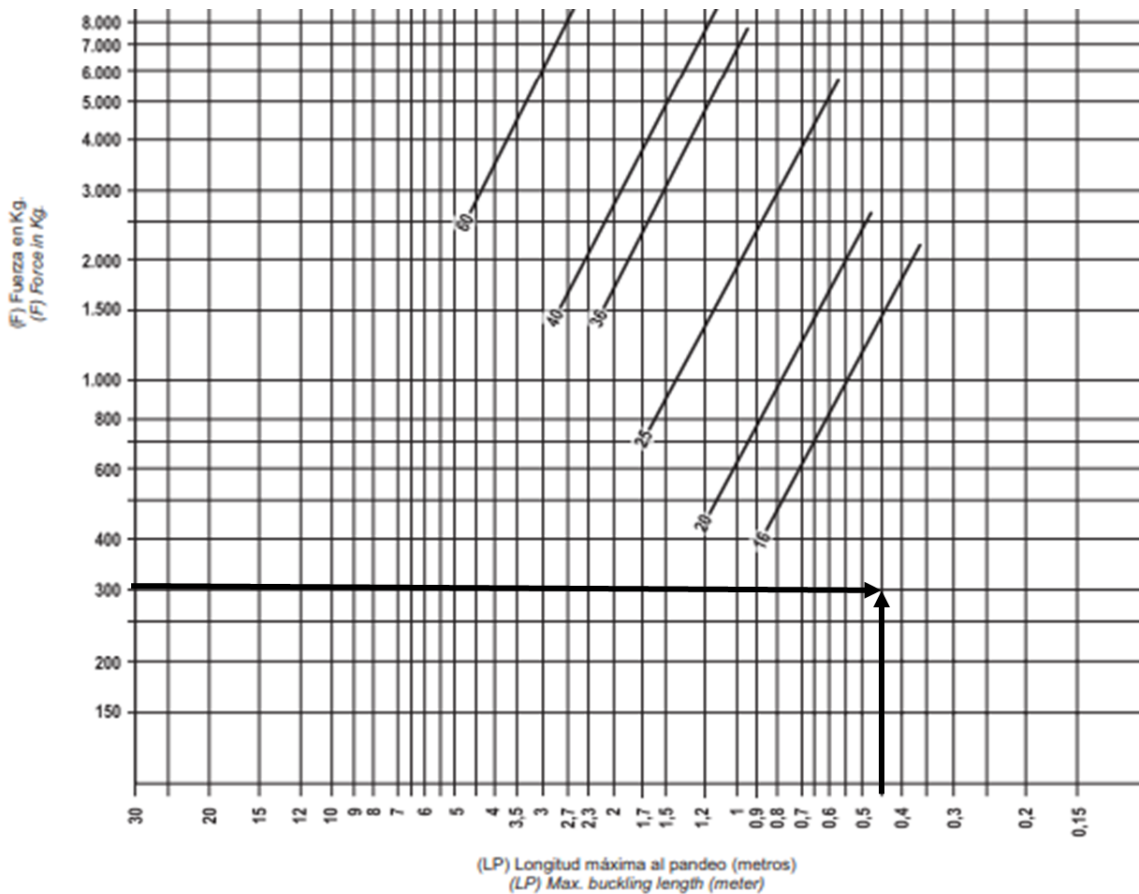


Figura 2.44. Diámetros normalizados de vástagos.

Fuente: (Roquet, 2021)

Se observa que el punto a considerar se ubica por debajo de 16 mm, por lo que se selecciona este valor.

$$L_{\text{pandeo}} \text{ y } F_{\text{maxCil}} \rightarrow D_{\text{vas}} = 16 \text{ mm}$$

Posterior a la obtención del valor del diámetro del vástago, se realiza el cálculo de presión de retroceso a la cual será sometida el cilindro hidráulico. Teniendo que un parámetro de diseño es considerar que el cilindro retorne a su posición inicial con el propio peso de la plataforma y las cargas ejercidas sobre esta, se calcula la presión de retroceso considerando la fuerza máxima en el punto "b4", que es el punto de unión del vástago con las tijeras.

$$P_{\text{retroceso}} = \frac{F_{\text{maxb4}}}{A_{\text{retroceso}}} \rightarrow A_{\text{retroceso}} = \frac{(D_{\text{embolo}}^2 - D_{\text{vástago}}^2) * \pi}{4} = \frac{(40\text{mm}^2 - 16\text{mm}^2) * \pi}{4}$$

$$= 1055,58\text{mm}^2 = 105,558 * 10^{-3}\text{m}^2$$

$$P_{\text{retroceso}} = \frac{16130\text{N}}{105,558 * 10^{-3}\text{m}^2} = 152,81 \text{ KPa}$$

Se determina que la presión avance es mayor que la de retroceso.

El material seleccionado para el émbolo es un acero AISI-1045, cuyas características mecánicas se muestran en la Figura 2.45.

ACERO AISI / SEA 1045	
Dureza	163 HBRINELL
Esfuerzo de Fluencia	310 Mpa
Esfuerzo Máximo	565 Mpa
Elongación	16% en 50 mm
Reducción de Área	40%
Densidad	7,85 g/ cm <sup>3</sup>

Figura 2.45. Características de acero AISI-1045.

Fuente: (AXXECOL S. A., 2017)

Su tensión de fluencia es de 310 MPa.

### 2.7.12. Selección de la bomba hidráulica

Se escoge una bomba de cilindrada fija tipo engranaje, como se detalla en la Figura 2.46. Se usa esta bomba debido a que tiene pocas piezas móviles, facilitando así el mantenimiento cuando sea debido. Además, cumple con los requerimientos de caudal y presión necesarios.

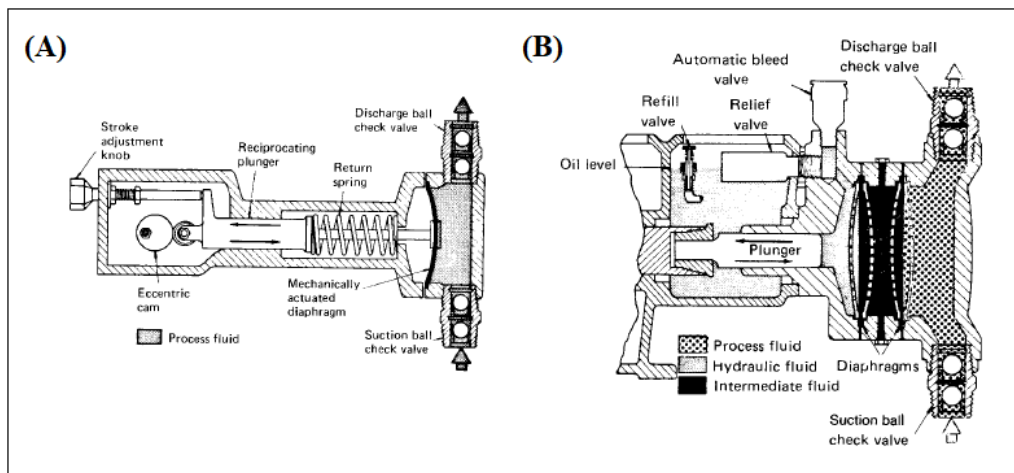


Figura 2.46. Bombas de desplazamiento. (A) controlada mecánicamente y (B) controlada hidráulicamente

Fuente: (Avallone, 1996)

Tabla 2.18. Modelos de bombas hidráulicas según presión de avance.

Tipo PGP 502	0008	0012	0016	0021	0025	0033	0036	0043	0048	0058	0062	0079
Cilindrada (cm <sup>3</sup> /rev)	0.8	1.2	1.5	2.1	2.5	3.3	3.6	4.3	4.8	5.8	6.2	7.9
Presión máx. continuo (bar)	275	275	275	275	275	275	250	210	160	160	150	120
Velocidad máx. de trabajo (rpm)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	3500	3000	3000	3000	2500
Peso (kg)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

Fuente: (GLUAL HIDRAULICA, 2009)

Con el valor de la presión de avance ya calculado (125,88bar), se selecciona una bomba de la tabla 2.18. La bomba escogida es la PGP 502-0062, cuyas especificaciones son:

$$P_{\max} = 150 \text{ bar}$$

$$n = 3000 \text{ rpm}$$

$$Q_{\text{bomba}} = 18,6 \text{ l/min}$$

Con estos valores se procede al cálculo de potencia de la bomba y el tiempo utilizado para la extensión de la plataforma.

$$t_{\text{ext}} = \frac{V_{\text{avance}}}{Q_{\text{bomba}}} = \frac{A_{\text{pist}} * L_{\text{carrera}}}{Q_{\text{bomba}}} = \frac{1055,58 * 215}{18,6 * 10^6} = 0,012 \text{ min} \approx 1 \text{ s.}$$

### 2.7.12.1. Potencia de la bomba

Tomando como referencia que el rendimiento total de la bomba se encuentra dentro del intervalo (0,8-0,95), Se estima que la potencia de la bomba será:

$$N = \frac{P * Q}{\eta * 612} = \frac{150 * 18,6}{0,9 * 612} = 5,06 \text{ KW}$$

### 2.7.13. Estructura de escaleras retráctiles

Para los cálculos referentes al módulo de escaleras retractiles, se analiza únicamente el escalón superior. Esto debido a que es el eslabón sometido a mayor esfuerzo a causa de que es aquel que tiene sus puntos de apoyo con más distancia entre sí. La estructura del escalón superior se puede observar en la Figura 2.47

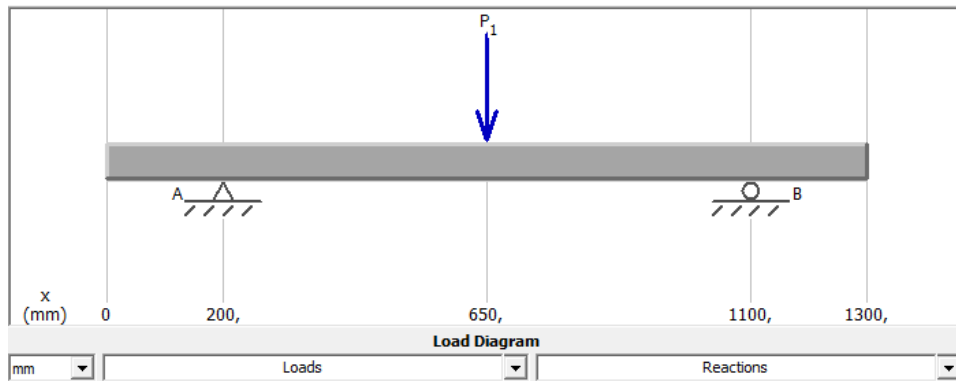


Figura 2.47. Estructura de escalón superior.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Como se definió anteriormente, la carga total de diseño contempla el peso de 2 personas (90 kg cada una) y 65 kg del medio de transporte de la persona con movilidad reducida. Para este cálculo, se toma en cuenta únicamente el peso de 2 personas simultáneamente, de tal manera que la fuerza usada en el estudio es de 1765,8 N centrada en la barra horizontal de la estructura, el cual es el escenario más desfavorable.

En la Figura 2.48, se detalla el diagrama de esfuerzos escalón superior.

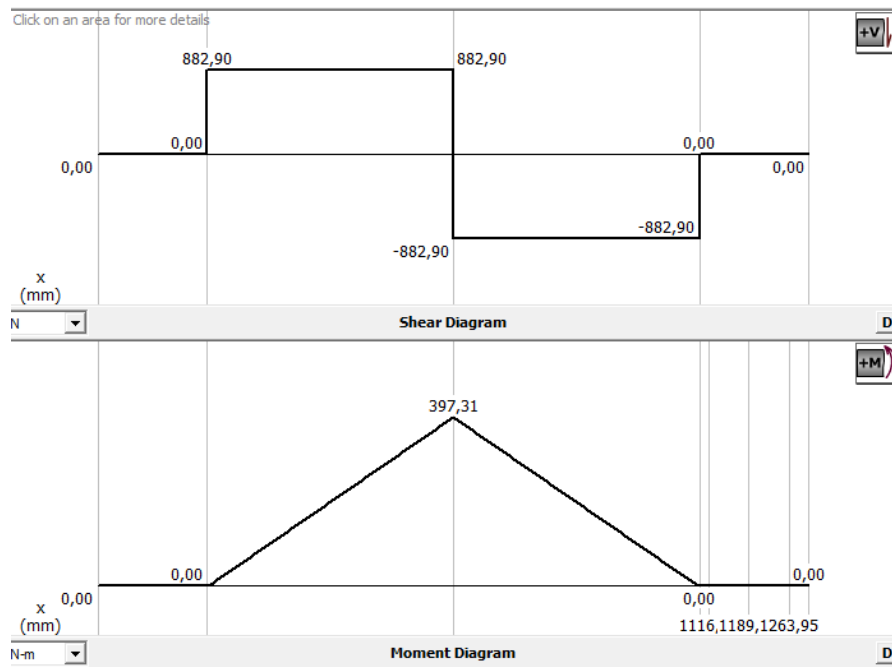


Figura 2.48. Diagrama de fuerzas escalón superior.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.7.13.1. Cálculo de sección de barra

Una vez determinado el factor de seguridad y el material de las barras, se procede al cálculo de la sección con los esfuerzos máximos calculados en el apartado anterior. Posterior a esto, se selecciona un perfil de la figura 2.40.

$$\frac{M_z}{W_z} \leq \frac{\sigma_F}{C_s} = \frac{397,31 \text{ N.m}}{W_z} \leq \frac{355 * \frac{10^6 \text{ N}}{\text{m}^2}}{3} \rightarrow W_z \geq 3,36 \text{ cm}^3$$

Se selecciona un perfil 100 x 50 x 3 cuyas características son las siguientes:

$$\text{Módulo de resistencia: } W_z = 20,90 \text{ cm}^3$$

$$\text{Área: } A = 8,33 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{extrabajo}} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_x}{A} = \frac{397,31 \text{ N.m}}{20,90 * 10^{-6} \text{ m}^3} + \frac{0 \text{ N}}{0,83 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 19,01 \text{ MPa}$$

Este valor es menor que la tensión de trabajo máximo:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{355 \text{ MPa}}{3} = 118,33 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, con la selección de este perfil, se cumple con la condición de asegurar un coeficiente de seguridad de 3.

### 2.7.14. Mecanismo motriz de escaleras retráctiles

El sistema motriz estará constituido por: el piñón motriz, la cremallera y por el motorreductor, que juntos son los encargados de transmitir el movimiento de avance para escalera. Esto se puede visualizar en la Figura 2.50.

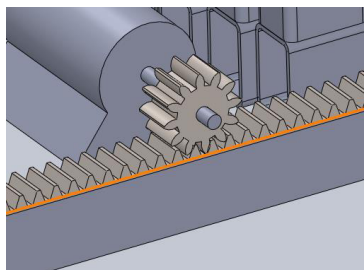


Figura 2.49. Mecanismo motriz de escaleras retráctiles.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]



### 2.7.14.1. Diseño del piñón

Para el diseño del piñón, se toma en cuenta las siguientes suposiciones:

- El tiempo de repliegue de la escalera debe ser de aproximadamente 10 segundos, por lo que la velocidad de esta es de 0,15m/s.
- El ancho de cara del piñón es de 30mm.
- El módulo  $m_g$  del piñón es de 4.
- Se toma como valor de inicio, 60 rpm (6,28rad/seg) para la velocidad de giro del motor-reductor.

Para determinar el diámetro de paso del piñón y el número de dientes se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$V_A = W_{\text{mot}} * \frac{D_p}{2}$$

$$N_p = \frac{D_p}{m}$$

De estas ecuaciones se deducen los valores requeridos:

$$D_p = \frac{V_A * 2}{W_{\text{mot}}} = \frac{0,15 * 2}{6,28} = 47,78\text{mm}$$

$$N_p = \frac{47,78}{4} = 11,945 \approx 12 \text{ dientes}$$

### 2.7.14.2. Diseño de la cremallera

El piñón al igual que la cremallera por su forma de construcción comparte algunas características técnicas:

- Módulo  $M_g$  4.
- Ancho de cara de 30mm.

Para calcular el número de dientes de la cremallera, se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{D_p}{Z},$$

Donde:

m = módulo Mg

D<sub>p</sub> = diámetro primitivo

Z = Número de dientes

$$D_p = \frac{L_{\text{cremallera}}}{\pi}$$

Como dato inicial, se toma en cuenta que la cremallera debe tener una longitud de 1,6 metros, esto tomando en cuenta la distancia entre el escalón inferior y el superior. De esta manera, se obtienen los siguientes resultados:

$$D_p = \frac{1600\text{mm}}{\pi} = 509,3\text{mm}$$

$$Z = \frac{509,3\text{mm}}{4\text{mm}} = 127,33 \approx 128 \text{ dientes}$$

Con estos valores, se calcula la longitud real requerida para la cremallera.

$$L_{\text{cremallera}} = m * Z * \pi = 4\text{mm} * 128 * \pi = 1608,5\text{mm}$$

### 2.7.14.3. Selección del motorreductor

El motorreductor debe ser capaz de trasladar el peso de los escalones, por ello que la fuerza que debe vencer el motorreductor es aproximadamente F<sub>m</sub>=1765,8 N.

Se calcula el torque necesario conociendo ciertos parámetros calculados anteriormente:

- V<sub>a</sub> = 0,15m/s.
- D<sub>p</sub> = 48mm.

$$T_{\text{mr}} = F_m * \frac{D_p}{2}$$

La potencia de avance requerida del motorreductor de las escaleras es dada por:

$$P_{\text{mr}} = T_{\text{mr}} * W_{\text{mr}}$$

$$W_{\text{mr}} = \frac{V_A}{\frac{D_p}{2}}$$

Donde:

$W_{mr}$ : Velocidad proporcionada por el motorreductor.

$D_p$ : Diámetro de paso del piñón.

$V_a$  = Velocidad nominal de avance de escaleras.

Al resolver las ecuaciones obtenemos:

$$T_{mr} = 1765,8 * \frac{48 \times 10^{-3}}{2} = 42,38 \text{ mm}$$

$$W_{mr} = \frac{0,15}{\frac{48 \times 10^{-3}}{2}} = 6,25 \text{ rad/s}$$

$$P_{mr} = 42,38 \times 10^{-3} \text{ m} * 6,25 \text{ rad/s} = 266,15 \text{ W} = 0,36 \text{ HP}$$

Considerando una eficiencia del sistema piñón cremallera ( $\eta_{pc}$ ) del 90% y del motorreductor ( $\eta_{mr}$ ) de 75%, la potencia efectiva requerida del motorreductor es:

$$P_{ef} = \frac{P_{mr}}{\eta_{pc} * \eta_{mr}} = \frac{0,36}{0,9 * 0,75} = 0,53 \text{ HP}$$

Por tanto, se seleccionará un motorreductor del mercado nacional de similares características de 110/220 V y 60 Hz.

### **2.7.15. Acoplamiento mecatrónico**

Una vez dimensionados los distintos elementos mecánicos, se debe resaltar cómo será el funcionamiento electrónico. Es este último el que controlara el accionamiento del conjunto entero mediante activaciones individuales.

Este módulo consta de un HMI (botonera con luces piloto) y un controlador Arduino Mega que estará dotado de relé de estado sólido para controlar tanto la bomba hidráulica para la elevación de la plataforma, como para el control del motor que alimenta la cremallera para la retracción de las escaleras. En la Figura 2.51 se detalla el sketch de acoplamiento mecatrónico y en la Figura 2.52 se muestra botón y luz piloto.

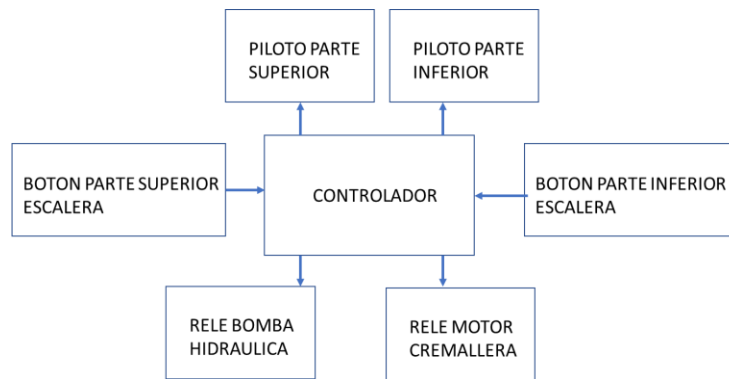


Figura 2.50. Sketch de acoplamiento mecatrónico.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

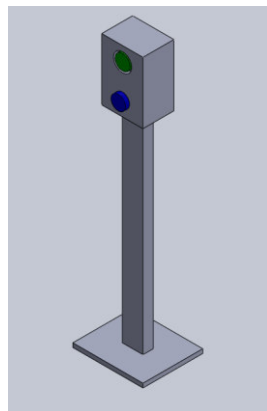


Figura 2.51. Botón y luz piloto.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

## 2.8. Construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo se ha considerado utilizar los siguientes elementos:

- Planchas de MDF de 3 mm de espesor
- Planchas de MDF de 5.5 mm de espesor
- Planchas de MDF de 9 mm de espesor
- Planchas de MDF de 12 mm de espesor
- Tornillos sin fin de acero inoxidable de 60 y 120 cm
- Acoples flexibles
- Rodamientos rotatorios

- Rodamientos lineales
- Varillas de acero inoxidable de 8mm de diámetro
- Motores a pasos Nema 17
- Fuente de poder de 20 Vdc 5A
- Reguladores de voltaje variable
- Arduino Uno con cable de comunicación
- Placa shield CNC
- Drivers para motores a pasos A4988
- Cables de conexión
- Pulsadores normalmente abiertos
- Servomotor de engranaje metálico

Durante la construcción de prototipo se han considerado realizar variaciones con respecto al modelo original como son:

- Altura y ancho de escalones y plataforma menores a las dimensiones reales de todo el conjunto.
- Desplazamiento lineal de tan solo 3 escalones retráctiles y elevación de la plataforma como si se tratase de superar una altura de 4 peldaños.
- Cambio de la cremallera y piñón por un tornillo sin fin.
- La plataforma elevadora hidráulica de tijeras ha sido reemplazada por un tornillo sin fin a cada lado de la plataforma unido a un motor a pasos.
- Por seguridad se ha decidido incluir una barrera que limite el tránsito de personas mientras el sistema se encuentra en movimiento.



Figura 2.52. Prototipo final construido.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

La mayor parte de la estructura ha sido fabricada con madera MDF por la facilidad que existe de dimensionarla mediante corte láser, se ha usado también perfiles de aluminio como soportes. Para los elementos que confieren movimiento a los escalones, barrera de seguridad y plataforma se usan motores a pasos y servomotores que cumplan con la funcionalidad del modelo real. (Figura 2.52)

Con respecto a la plataforma elevadora se decidió el cambio debido a los costos que implicaban el implementar un cilindro hidráulico de las dimensiones requeridas, esta variación no influye en comportamiento del sistema.

El funcionamiento de todo el sistema está basado en movimientos lineales, en el eje x podremos extender los escalones para que tomen la forma de gradas convencionales y de la misma forma en sentido contrario podremos contraer estos escalones para habilitar la plataforma que se encuentra oculta debajo de ellos. La plataforma podrá elevarse y descender permitiendo así transportar a las personas con movilidad reducida desde un nivel hacia otro.

Para extender y retraer los escalones se utilizó un motor a pasos unido a un tornillo sin fin mediante un acople flexible, esto a su vez estará conectado al primer escalón por medio de un rodamiento lineal y una barra, esto se indica en la figura 2.53. El primer escalón será el que mientras va desplazándose se acopla al segundo escalón y este a su vez al tercero y así

consecutivamente logrando la formación de las gradas convencionales como se muestra en la figura 2.54.

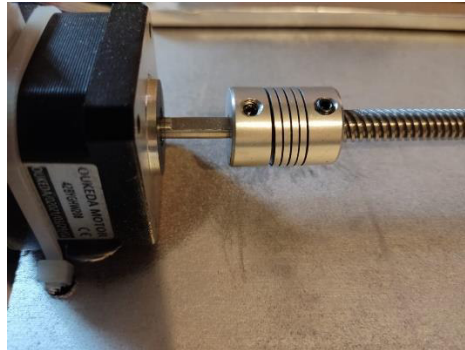


Figura 2.53. Acoplamiento del motor a pasos con el tornillo sin fin.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]



Figura 2.54. Acoplamiento de los escalones.

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Para la plataforma como se había mencionado anteriormente se ha utilizado dos tornillos sin fin acoplados cada uno a un motor a pasos mediante un acople flexible. Se ha realizado una estructura que sostenga a estos dos tornillos y se añadieron dos varillas de acero inoxidable a manera de guías para el movimiento.

Si bien no se había considerado durante el sistema inicial el incluir una barrera de seguridad decidimos añadirla porque justamente analizamos la necesidad de evitar que las personas que no poseen limitación en su movilidad puedan sufrir un accidente al no observar que el sistema se encuentra en movimiento. Para ello utilizamos un servomotor que con un movimiento angular nos permitirá levantar y bajar la barrera (Figura 2.55.)



Figura 2.55. Barrera de seguridad unida al servomotor

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

### 2.8.1. Controlador para el prototipo

Para controlar el funcionamiento de nuestro sistema hemos optado por usar un Arduino Uno que se conecta a la tarjeta CNC Shield que es especializada para el control de motores a pasos. La tarjeta nos permite conectar hasta 4 motores por lo que es ideal ya que nosotros usaremos tan solo 3 y para acoplarlos a esta tarjeta se utilizan el mismo número de drivers para motores a pasos A4988.

Los pines de propósito general de la tarjeta han sido ocupados para el servomotor que controlará la barrera, 4 pulsadores y la luz indicadora.

Se ha definido que el primer motor trabaje en el eje “x”, el segundo motor en el eje “y” y se ha denotado un eje “a” paralelo al eje “y” para el tercer motor, este último eje servirá para que al elevar o descender la plataforma tanto el segundo como el tercer motor trabajen a la par.

A continuación, en la figura 2.56 se presenta el diagrama de conexiones que se ha realizado.



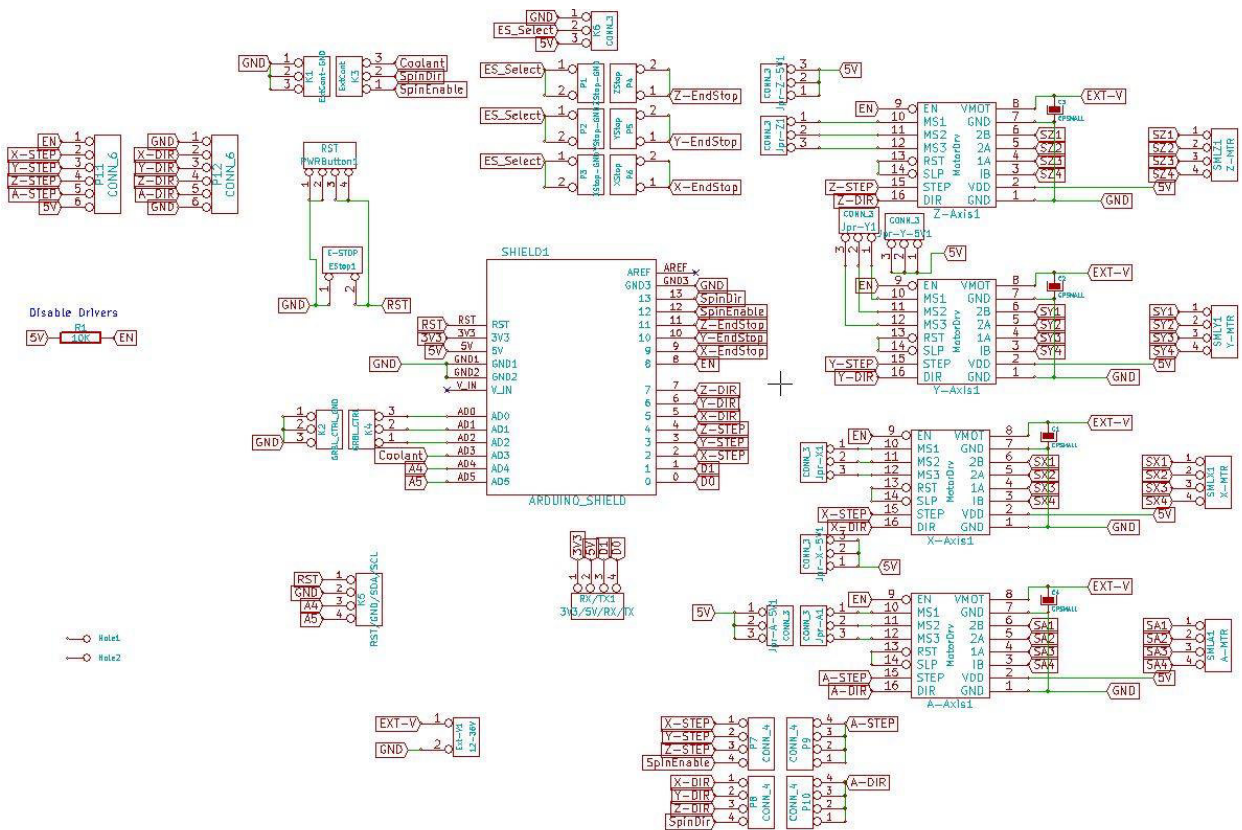


Figura 2.56. Diagrama de conexiones  
 Fuente: [Elaboración propia, 2021]

El código de programación usado se encuentra en el Anexo II.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Análisis del prototipo**

Después de ensamblar el prototipo hemos procedido a observar su comportamiento de acuerdo con cada una de las estaciones en que se subdivide el movimiento para transportar a una persona con movilidad reducida desde un nivel hacia otro.

Para el ascenso al presionar el pulsador de color verde la barrera de seguridad desciende y se coloca paralela al horizonte evitando la libre circulación por las escaleras, a continuación, los peldaños de las gradas empiezan a ocultarse para permitir que la persona que va a usar el sistema pueda ingresar y colocarse sobre la plataforma que será elevada. Una vez que ha llegado hasta el segundo nivel de referencia la barrera se levanta y permite que la persona pueda acceder al medio físico. Para dejar todo el sistema en la forma original se deberá finalmente pulsar el botón de color rojo que enviará la orden de bajar la barrera de seguridad y empezar el descenso de la plataforma, posterior extensión de los escalones y finalmente la elevación de la barrera de seguridad para el uso de las gradas.

Para el descenso se cumplirá con presionar el pulsador verde para hacer descender la barrera, contraer los escalones y elevar la plataforma, se elevará la barrera permitiendo el acceso de la persona con movilidad reducida a la plataforma, luego se pulsará el botón rojo para descender la plataforma y salir al primer nivel. Una vez que la persona sale empiezan a desplazarse los escalones ocultos y se forman las escaleras originales.

Durante los movimientos realizados se pudo observar que una de las características principales es que los desplazamientos deben ser silenciosos y con la presencia mínima de vibraciones que puedan ocasionar inestabilidad o movimientos intermitentes con atascos a lo largo del eje de desplazamiento.

La seguridad es primordial y al haberse añadido una barrera de seguridad juntamente con una luz LED o luz piloto permiten que los usuarios y personas alrededor del sistema tengan una referencia física de que no se debe continuar por el camino debido a que se están ejecutando movimientos específicos. Además, se incluyen barandales fijos a los lados al igual que se tiene un paro de emergencia en caso de suscitarse algún inconveniente en el sistema durante su uso.

### 3.2. Análisis de costos de construcción

En esta sección se realiza el análisis del costo de construcción, en donde se muestra por medio de tablas el costo de cada pieza por separado, insumos y elementos estandarizados. En la Tabla 3.1 se enlistan todos los elementos normalizados que se usan para construir el sistema de acceso adaptable para personas con movilidad reducida.

Tabla 3.1. Costo de los materiales normalizados.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
Tubo rectangular 100x50x5mm	8	14\$	112\$
Lamina 1000x1300x3mm	2	45\$	90\$
Barra redonda 40mm	3	4\$	12\$
Bomba hidráulica PGP 502-0062	1	180\$	180\$
Cilindro hidráulico	1	55\$	55\$
Tubo rectangular 100x40x3mm	12	8\$	96\$
Arduino Mega	1	35\$	35\$
Fuente de alimentación 12VDC/5 <sup>a</sup>	1	32\$	32\$
Botón pulsador NA	2	12\$	24\$
Relé 5VDC	2	4\$	8\$
Luz piloto 110VAC	2	5\$	10\$
		<b>Total</b>	<b>654\$</b>

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la Tabla 3.2. se describe de los costos de mano de obra de construcción y el de preparación del lugar de instalación.

Tabla 3.2. Costos de mano de obra

Construcción		Preparación		Total
Armado de plataforma tipo tijeras	100\$	Preparación de fosa horizontal	50\$	150\$
Armado de escaleras retractiles	50\$	Preparación de fosa vertical	50\$	100\$
Armado de placa electrónica	20\$			20\$
Total				270\$

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

En la Tabla 3.3 se muestra el costo total de construcción del sistema de acceso adaptable para personas con movilidad reducida.

Tabla 3.3. Costo total de fabricación e instalación

Tipo de costo	Costo
Materiales normalizados	654\$
Mano de obra	270\$
Imprevistos (10%)	92,4\$
Total	1016,4\$

Fuente: [Elaboración propia, 2021]

Como se observa, la construcción es rentable si se toma en cuenta los beneficios que puede tener al ser instalado, la cantidad de población a la que puede beneficiar y la durabilidad de este. Cabe acotar, que dichos costos pueden variar debido a elementos que deban ser reemplazados en caso de no existir en el mercado nacional.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se determinó el mejor diseño para la plataforma a través de la herramienta la casa de la calidad, analizando y ponderando las exigencias de los clientes, así como, las características de la competencia para determinar una solución competente para el cliente.
- El prototipo obtenido combina cuatro movimientos lineales para su funcionamiento, ocultar las escaleras y elevar la plataforma, y al contrario para llevarlo a su estado de reposo. El comportamiento del prototipo ha sido satisfactorio con respecto a lo esperado lo que nos indica que una vez que sea construido cumplirá con los requerimientos y funcionará de forma correcta.
- Se desarrolló exitosamente el estudio numérico de accesos al medio físico adaptables para la población con movilidad reducida utilizando software como MDSolids, MEFI (Método de elementos finitos), SolidWorks y ESS, a partir de estos análisis y resultados se diseñó un prototipo el cual cumpliera todas las normas, a su vez sea adaptable y fiable para el usuario.
- El prototipo desarrollado permite el uso de este sin necesidad de un acompañante siendo apto para toda persona con movilidad reducida, disponiendo de barreras y barandas para garantizar su seguridad.
- Construir el prototipo nos permitió demostrar la fácil adecuación tanto para interiores como exteriores; asimismo, el que se pueda agregar cualquier recubrimiento a la estructura, de esta manera no afecta la arquitectura de la edificación a la que se desee instalar.
- La funcionalidad del prototipo se comprobó, las escaleras se extienden y repliegan de forma correcta, la plataforma de elevación posee una ligera tendencia a inclinarse hacia donde se coloca la carga, pero esto es debido a que en el prototipo tan solo existen apoyos en el centro de la plataforma y el material con el que se construyó posee menor rigidez que el material con el que será fabricada la estructura.

- Un factor importante a tomar en cuenta es el ruido que puede causar los elementos como la bomba y motor, se deben aislar de forma correcta para evitar que el uso de la plataforma contamine acústicamente el entorno en donde se encuentra operando. Los motores usados en el prototipo generan un sonido que puede ser considerado como molesto y a mayor escala esto se convierte en una característica muy importante.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que para una mejora del prototipo se puedan incluir sensores que permitan el reconocimiento de una persona con discapacidad y de esa forma poder iniciar ciertos movimientos sin la necesidad de pulsadores.
- Se recomienda mantenimiento preventivo para todas las partes móviles del equipo, al ser elementos que elevan personas de un nivel hacia otro es necesario realizar un control del estado en que se encuentran cada uno de los elementos constitutivos.
- Se recomienda que para proyectos posteriores se tome en cuenta elementos que se puedan encontrar en el mercado nacional, ya que permitirá la reducción de costos. Si bien se pueden fabricar los costos del proceso harían que su costo sea elevado.
- Se recomienda recubrir los elementos que puedan verse afectados por la corrosión, en caso de ser usado en exteriores.
- Se recomienda que se pueda desarrollar o incluir posteriormente un sistema manual que permita al usuario ser elevado o descendido por completo de la plataforma en caso de alguna falla con el controlador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito, Ecuador: Tribunal Constitucional del Ecuador. Registro oficial Nro, 449.
- Augusto, V. (2017). *Geometría de masas*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Avallone, E. A. (1996). *Standard Handbook for Mechanical Engineers, 10Th Edition*. New York, USA: McGRAW-HILL.
- AXXECOL S. A. (2017). *ACERO 1045*. Obtenido de [https://www.axxecol.com/document/axxecol/Axxecol\\_1045.pdf](https://www.axxecol.com/document/axxecol/Axxecol_1045.pdf)
- Bolton, W. (2005). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica*. Alfaomega, 2da Edición.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de de Shigley*. México, D. F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- CONADIS. (08 de 2021). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Obtenido de Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Corvo, H. (2021). *Sistemas mecánicos*. Lifeder.
- Diccionario panhispánico del español jurídico. (2020). *Accesibilidad Universal*. Obtenido de Accesibilidad Universal: <https://dpej.rae.es/lema/accesibilidad-universal>
- DIPAC. (2021). *Tubo estructural rectangular galvanizado*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de DIPAC MANTA C A: <https://www.dipacmanta.com/tubo-estructural-rectangular-galvanizado>
- Dirección General de Reglamentos y Sistemas . (2015). *Reglamentos para el diseño de medios de circulación vertical de edificaciones* . Santo Domingo, Republica Dominicana.
- El Expreso. (02 de 12 de 2019). El derecho a la accesibilidad inclusiva se queda en papel. *El derecho a la accesibilidad inclusiva se queda en papel*, pág. 1.

- Escuela de Ingenierías Industriales. (2021). *Tablas de perfiles*. Universidad de Valladolid. Obtenido de <https://www.eii.uva.es/>
- GLUAL HIDRAULICA. (2009). *Catálogo industrial 06/2009*. Obtenido de [https://www.glual.com/pdf/catalogos/catalogo\\_industrial.pdf](https://www.glual.com/pdf/catalogos/catalogo_industrial.pdf)
- Grupo Metinvest. (2021). *Catálogo de acero*. Obtenido de <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/s355jr>
- Grupo Metinvest. (2021). *Catálogo de acero S355*. Obtenido de <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/s355jr>
- hydraulics, BASTYMEC. (s.f.). Obtenido de <https://bastimec.com/tienda/es/66-cilindro-simple-efecto-45-5060-600.html>
- INEN 22-1. (2015). *Directrices para el desarrollo de normas sobre sistemas de transporte. Necesidades de las personas mayores. Parte 1: Directrices básicas*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 2245. (2015). *Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios. Rampas fijas*. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2245, Instituto Ecuatoriano de Normalización, .
- INEN 2249. (2015). *Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios. Escaleras*. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2249, Instituto Ecuatoriano de Normalización, .
- INEN 2849. (2015). *Accesibilidad universal y diseño para todos. Parte 1: criterios dalco para facilitar la accesibilidad al entorno*. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2849, , Instituto Ecuatoriano de Normalización, .
- MACHEN PERÚ. (2021). *Cilindros Hidraulicos*. Obtenido de [https://www.machenperu.com/uploads/cilindros/catalogo\\_cilindros\\_hidraulicos\\_v1.pdf](https://www.machenperu.com/uploads/cilindros/catalogo_cilindros_hidraulicos_v1.pdf)
- Murillo, E. (2016). *Caracterización de un elevador tipo tijera para vehículos*.
- Riba-Romeva, C. (2002). *Diseño concurrente*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Rodríguez, R., & Gómez, J. (2021). *Electrónica Analógica*.
- ROEMHELD. (2021). *Cilindros hidráulicos*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de <https://www.roemheld->



gruppe.de/fileadmin/user\_upload/downloads/technische\_informationen/Wissenswertes\_Hydraulikzylinder\_es\_0212.pdf

Roquet. (2021). *Catálogo de cilindros hidráulicos*. Obtenido de [http://roquet.brytebarcelona.com/new/lmbinaries/pdf1033\\_document.pdf](http://roquet.brytebarcelona.com/new/lmbinaries/pdf1033_document.pdf)

Roquet, P. (2021). *Catálogo de cilindros hidráulicos*. Obtenido de [http://roquet.brytebarcelona.com/new/lmbinaries/pdf1033\\_document.pdf](http://roquet.brytebarcelona.com/new/lmbinaries/pdf1033_document.pdf)

Ruales, A. (2021). *Sistemas Hidráulicos*.

Sejzer, R. (2016). *QFD y la Casa de la Calidad*. Obtenido de <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/12/qfd-y-la-casa-de-la-calidad.html>

Sesame Access. (2021). *Salvaescaleras Mayfair*. Obtenido de <https://sesameaccess.com>.

SUMITEC. (s/f). *Acero estructural. Acero ASTM A1011/A1011M-04a (Hot Rolled)*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de <https://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE02.pdf>

UTP. (2016). *Tablas de diseño de elementos de maquinas*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2021, de Universidad Tecnológica de Pereira: <https://www.blog.utp.edu.co/lvanegas/file/2016/08/Tablas.pdf>

Válida sin barreras. (2021). *Escalera elevadora ADAPTO*. Obtenido de <https://es.validasinbarreras.com>.

Vásquez, J. (2014). *Accesibilidad, revisión de los parámetros de diseño*. Coruña, España: E.U.A.T.A .



```

//// Prueba Shield CNC, Driver, Motores de Pasos y Arduino UNO

//// By: www.dinastiatecnologica.com

////

//#define x_paso 2 // Define el Pin de STEP para Motor de eje X

//#define x_dire 5 // Define el Pin de DIR para Motor de eje X

//#define x_habi 8 // Define el Pin de ENABLE para Motor de eje X

//#define y_paso 3

//#define y_dire 6

//#define y_habi 8

//#define z_paso 4

//#define z_dire 7

//#define z_habi 8

//

//int retardo = 1000; // Menor número el giro es más rápido

//int tiempo = 1000; // durante cuánto tiempo da el giro el motor (vueltas)

//

//void setup() {

//pinMode(x_paso, OUTPUT); pinMode(x_dire, OUTPUT); pinMode(x_habi, OUTPUT);

//pinMode(y_paso, OUTPUT); pinMode(y_dire, OUTPUT); pinMode(y_habi, OUTPUT);

//pinMode(z_paso, OUTPUT); pinMode(z_dire, OUTPUT); pinMode(z_habi, OUTPUT);

//}

//

//void loop() {

// giro(x_paso,x_dire,x_habi);

```

```

// //giro(y_paso,y_dire,y_habi);
// //giro(z_paso,z_dire,z_habi);
//}
//
//void giro(int paso_,int dire_,int habi_) {
// digitalWrite(habi_, LOW); // Habilita el Driver
// digitalWrite(dire_, LOW); // direccion de giro 1
// for(int i = 0; i < tiempo; i++){ // da pasos por un tiempo
// digitalWrite(paso_, HIGH);
// delayMicroseconds(retardo);
// digitalWrite(paso_, LOW);
// delayMicroseconds(retardo);
// }
// digitalWrite(dire_, HIGH); // direccion de giro 2
// for(int i = 0; i < tiempo; i++){ // da pasos por un tiempo
// digitalWrite(paso_, HIGH);
// delayMicroseconds(retardo);
// digitalWrite(paso_, LOW);
// delayMicroseconds(retardo);
// }
// digitalWrite(habi_, HIGH); // quita la habilitacion del Driver
//
// //delay(1000);
//}

```

```

#include <Servo.h>

#define x_paso 2 // Define el Pin de STEP para Motor de eje X

#define x_dire 5 // Define el Pin de DIR para Motor de eje X

#define x_habi 8 // Define el Pin de ENABLE para Motor de eje X

#define y_paso 3

#define y_dire 6

#define y_habi 8

#define z_paso 4

#define z_dire 7

#define z_habi 8

int retardo = 1000; // Menor número el giro es más rápido

int tiempo = 1000; // durante cuánto tiempo da el giro el motor (vueltas)

int contador = 0;

const int p_in = 10;

const int p_out = 11;

const int p_in_2 = 12;

const int p_out_2 = 14;

int e_p_in = 0;

int e_p_out = 0;

int e_p_in_2 = 0;

int e_p_out_2 = 0;

Servo myservo;

int pos = 0;

bool m_1 = false;

```

```

bool m_2 = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(x_paso, OUTPUT); pinMode(x_dire, OUTPUT); pinMode(x_habi, OUTPUT);
  pinMode(y_paso, OUTPUT); pinMode(y_dire, OUTPUT); pinMode(y_habi, OUTPUT);
  //pinMode(z_paso, OUTPUT); pinMode(z_dire, OUTPUT); pinMode(z_habi, OUTPUT);

  pinMode(p_in, INPUT_PULLUP);
  pinMode(p_out, INPUT_PULLUP);
  pinMode(p_in_2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(p_out_2, INPUT_PULLUP);

  myservo.attach(9);
  myservo.write(0);
}

void loop() {
  e_p_in = digitalRead(p_in);
  e_p_out = digitalRead(p_out);
  e_p_in_2 = digitalRead(p_in_2);
  e_p_out_2 = digitalRead(p_out_2);
  if (e_p_in == HIGH) {
    //Serial.println("SIN PULSAR PIN");
  }

  if (e_p_in == LOW && m_1 == false && m_2 == false) {
    m_1 = true;

    for (pos = 0; pos <= 100; pos += 1) { // BAJA LA BARRERA

```

```

// in steps of 1 degree

myservo.write(pos);

delay(15);

}

digitalWrite(x_dire, HIGH); // ENTRAN LAS GRADAS

for(int i = 0; i < 10230; i++){ // da pasos por un tiempo

digitalWrite(x_paso, HIGH);

delayMicroseconds(retardo);

digitalWrite(x_paso, LOW);

delayMicroseconds(retardo);

}

delay(1000);

//////////////////////////////////// Y

digitalWrite(y_habi, LOW); // Habilita el Driver // SUBE LA PLATAFORMA
digitalWrite(y_dire, LOW); // direccion de giro 1

for(int i = 0; i < 6120; i++){ // da pasos por un tiempo

digitalWrite(y_paso, HIGH);

delayMicroseconds(retardo);

digitalWrite(y_paso, LOW);

delayMicroseconds(retardo);

// contador = contador + 1;

// Serial.println(contador);

}

delay(1000);

```

```

for (pos = 100; pos >= 0; pos -= 1) { // SUBE LA BARRERA

    myservo.write(pos);

    delay(15);

}

}

if (e_p_out == HIGH) {

    //Serial.println("SIN PULSAR POUT");

}

if(e_p_out == LOW && m_1 == true && m_2 == false) {

    m_1 = false;

    for (pos = 0; pos <= 100; pos += 1) { // BAJA LA BARRERA

        // in steps of 1 degree

        myservo.write(pos);

        delay(15);

    }

    digitalWrite(y_dire, HIGH);          // BAJA LA PLATAFORMA

    for(int i = 0; i < 6120; i++){ // da pasos por un tiempo

        digitalWrite(y_paso, HIGH);

        delayMicroseconds(retardo);

        digitalWrite(y_paso, LOW);

        delayMicroseconds(retardo);

        //contador = contador + 1;

        //Serial.println(contador);

    }

```



```

    delay(1000);

    ////////////////////////////////////// X

    digitalWrite(x_habi, LOW); // Habilita el Driver          SALEN LAS GRADAS
    digitalWrite(x_dire, LOW); // direccion de giro 1

    for(int i = 0; i < 10230; i++){ // da pasos por un tiempo

        digitalWrite(x_paso, HIGH);

        delayMicroseconds(retardo);

        digitalWrite(x_paso, LOW);

        delayMicroseconds(retardo);

    }

    delay(1000);

    for (pos = 100; pos >= 0; pos -= 1) { // SUBE LA BARRERA

        myservo.write(pos);

        delay(15);

    }

}

if (e_p_in_2 == HIGH) {

    Serial.println("SIN PULSAR PIN 2");

}

if(e_p_in_2 == LOW && m_2 == false && m_1 == false) {

    m_2 = true;

    for (pos = 0; pos <= 100; pos += 1) { // BAJA LA BARRERA

        // in steps of 1 degree

        myservo.write(pos);
    }
}

```

```

    delay(15);
}
delay(1000);
digitalWrite(x_dire, HIGH); // ENTRAN LAS GRADAS
for(int i = 0; i < 10230; i++){ // da pasos por un tiempo
    digitalWrite(x_paso, HIGH);
    delayMicroseconds(retardo);
    digitalWrite(x_paso, LOW);
    delayMicroseconds(retardo);
}
delay(1000);
digitalWrite(y_habi, LOW); // Habilita el Driver // SUBE PLATAFORMA
digitalWrite(y_dire, LOW); // dirección de giro 1
for(int i = 0; i < 6120; i++){ // da pasos por un tiempo
    digitalWrite(y_paso, HIGH);
    delayMicroseconds(retardo);
    digitalWrite(y_paso, LOW);
    delayMicroseconds(retardo);
    // contador = contador + 1;
    // Serial.println(contador);
}
delay(2000);
for (pos = 100; pos >= 0; pos -= 1) { // SUBE LA BARRERA
    myservo.write(pos);

```

```

    delay(15);
}
delay(1000);
}
if (e_p_out_2 == HIGH) {
    Serial.println("SIN PULSAR OUT 2");
}
if(e_p_out_2 == LOW && m_2 == true) {
    m_2 = false;
    for (pos = 0; pos <= 100; pos += 1) { // BAJA LA BARRERA
        // in steps of 1 degree
        myservo.write(pos);
        delay(15);
    }
    digitalWrite(y_dire, HIGH); // BAJA LA PLATAFORMA
    for(int i = 0; i < 6120; i++){ // da pasos por un tiempo
        digitalWrite(y_paso, HIGH);
        delayMicroseconds(retardo);
        digitalWrite(y_paso, LOW);
        delayMicroseconds(retardo);
        //contador = contador + 1;
        //Serial.println(contador);
    }
    delay(1000);
}

```

```

digitalWrite(x_habi, LOW); // Habilita el Driver          SALEN LAS GRADAS
digitalWrite(x_dire, LOW); // dirección de giro 1
for(int i = 0; i < 10230; i++){ // da pasos por un tiempo
  digitalWrite(x_paso, HIGH);
  delayMicroseconds(retardo);
  digitalWrite(x_paso, LOW);
  delayMicroseconds(retardo);
}
delay(1000);
for (pos = 100; pos >= 0; pos -= 1) { // SUBE LA BARRERA
  myservo.write(pos);
  delay(15);
}
}
}
}

```