

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UN ELEVADOR PARA PERSONAS EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN BIOMECÁNICA Y ROBÓTICA APLICADA - PUCP

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico que presenta el bachiller:

JOHNNY MANUEL GUERRERO CONCEPCIÓN

ASESOR: Dr. Dante Ángel Elías Giordano

Lima, Agosto del 2013

RESUMEN

La presente tesis comprende el diseño de un sistema de elevación para personas en condición de discapacidad, a instalarse en el laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Este sistema de elevación fue diseñado para trasladar dos usuarios con un peso en conjunto aproximado de 300 kg desde el nivel del suelo hacia un simulador de marcha ubicado a 70 cm de altura respecto del nivel del suelo.

El sistema de elevación propuesto es un elevador del tipo tijeral que ocupa un espacio de 1.30 metros de largo por 0.8 metros de ancho y está ubicado contiguo a la pared lateral izquierda del laboratorio. El sistema funciona mediante un sistema hidráulico – eléctrico en donde un motor de 1 HP provee la energía necesaria para accionar los cilindros hidráulicos que impulsan la plataforma de elevación.

En la primera parte de la presente tesis se da una descripción de las tecnologías actuales existentes para sistemas de elevación, donde se menciona su composición y funcionamiento.

Luego se revisa y aplica la metodología para el diseño según VDI2225, la cual es una norma alemana para el diseño de máquinas utilizada en los cursos de Ingeniería Mecánica para determinar qué tipo de tecnología de elevación es la más apropiada para solucionar el problema propuesto.

Finalmente se muestra el diseño del sistema de elevación propiamente dicho y la selección de equipos que lo comprenden. Asimismo se muestran los planos de todas las piezas y equipos del sistema. Además, se realizó un estimado del costo total de la inversión, el cual es de S/.16,862.


 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : DISEÑO DE UN ELEVADOR PARA PERSONAS EN
 CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD PARA EL
 LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN
 BIOMECÁNICA Y ROBÓTICA APLICADA - PUCP

ÁREA : Diseño # 241

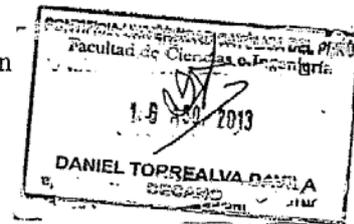
PROPUESTO POR : Dr. Dante Elías Giordano

ASESOR : Dr. Dante Elías Giordano

TESISISTA : Johnny Manuel Guerrero Concepción

CÓDIGO : 20064546

FECHA : 15 agosto del 2013


DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

Actualmente en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada de la Sección de Ingeniería Mecánica se dispone de un prototipo de simulador de marcha para personas en condición de discapacidad en locomoción. Esta máquina cuenta con dos plataformas móviles del tipo Stewart-Gough de 70 cm de altura cada una, en las cuales el usuario se coloca para realizar diversos ejercicios de motricidad de sus miembros inferiores.

Actualmente el usuario debe subir por una escalera metálica, y luego caminar por una estructura semicircular, para finalmente acceder al simulador de marcha. En la mayoría de los casos este proceso, de acceso por medio de una escalera, suele ser un tanto tedioso y complicado para el usuario debido a las lesiones de los mismos, causándoles molestias en el momento del acceso al simulador. Por lo tanto se propone el diseño de un elevador para personas en condición de discapacidad, el que se debe instalar en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada PUCP para reemplazar la escalera metálica existente, de modo tal que se facilite el acceso del usuario.

Entre los objetivos específicos se propone desarrollar una solución compacta que permita reemplazar la escalera ahorrando espacio en el laboratorio, desarrollar una solución técnica que permita trasladar dos pasajeros hacia el simulador, y estimar el costo de esta solución genérica. El alcance de este trabajo comprende el diseño y la selección de los componentes y equipos que se integren para el diseño del elevador, y la elaboración de los planos correspondientes.





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

“DISEÑO DE UN ELEVADOR PARA PERSONAS EN CONDICIÓN DE
DISCAPACIDAD PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN
BIOMECÁNICA Y ROBÓTICA APLICADA -PUCP”

Introducción

1. Antecedentes
2. Análisis del problema
3. Diseño de solución óptima
4. Estimación de la inversión

Observaciones y recomendaciones

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Máximo: 100 páginas



Ing. Dante Elías Giordano
Asesor

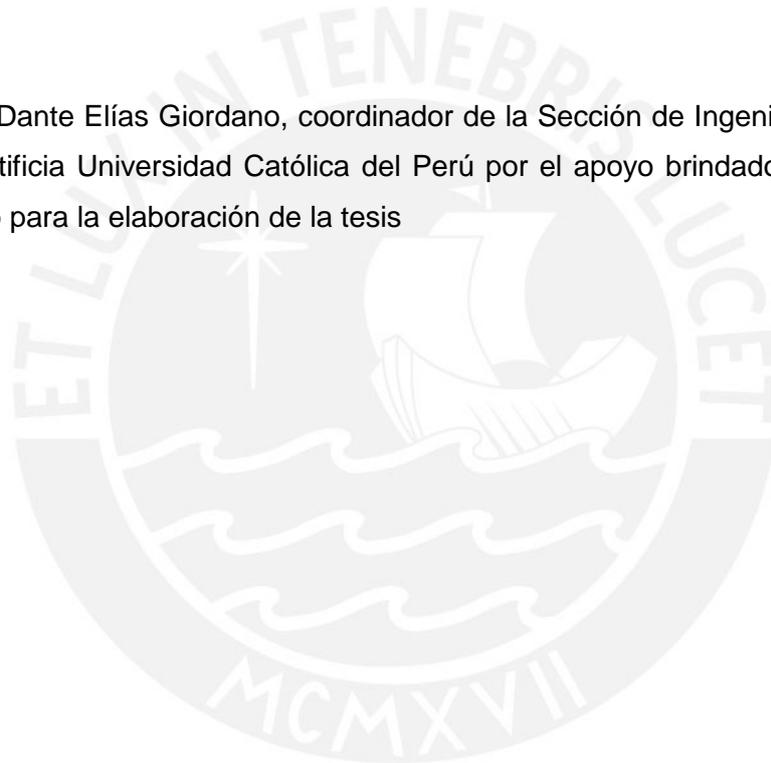


AGRADECIMIENTOS

A mis padres por apoyarme incondicionalmente durante todo el tiempo del desarrollo de la tesis.

Al Ingeniero Carlos Illescas por su importante y valiosa asesoría en el desarrollo de la presente tesis

Al Dr. Dante Elías Giordano, coordinador de la Sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú por el apoyo brindado durante más de un año para la elaboración de la tesis



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	I
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	X
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
1.1 Descripción de los elevadores	4
1.2 Clasificación de los mecanismos de elevación más utilizados	4
1.3 Tecnologías de elevación existentes	6
1.4 Elevadores para personas en condición de discapacidad.....	9
1.5 Componentes de un sistema de elevación	12
1.6 Aspectos técnicos para el diseño sistemas de elevación con personas.....	19
DISEÑO CONCEPTUAL	21
2.1 Análisis del problema.....	22
2.2 Consideraciones y requerimientos al problema planteado	24
2.3 Estructura de funciones	27
2.4 Matriz morfológica	30
2.5 Evaluación técnico – económica de los conceptos de solución	32
2.6 Concepto de solución óptimo.....	35
DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL PROYECTO ÓPTIMO	36
3.1 Consideraciones previas al cálculo	37
3.2 Dimensionamiento del sistema de elevación	39
3.3 Determinación de la fuerza del cilindro pistón.....	43
3.4 Cálculo de fuerzas en el sistema de elevación	46
3.5 Selección de perfiles.....	51
3.6 Diseño de la plataforma, estructura base y soporte de plataforma.....	58
3.7 Cálculo de pasadores	60
3.8 Diseño del vástago	63
3.9 Dimensionamiento de las articulaciones fijas del cilindro hidráulico y los brazos de elevación	65

3.10	Cálculo de las uniones soldadas críticas del sistema de elevación.....	67
3.11	Diseño y selección del cilindro hidráulico a utilizar.....	71
3.12	Selección del sistema hidráulico requerido.....	76
3.13	Selección de pernos de anclaje.....	78
3.14	Selección de ruedas a utilizar.....	80
3.15	Estructura de la cabina.....	81
3.16	Selección de límites de carrera.....	81
3.17	Esquema propuesto para el sistema hidráulico.....	82
3.18	Esquema propuesto para el sistema eléctrico.....	84
PLANOS Y COSTOS.....		88
4.1	Consideraciones generales respecto a los planos.....	89
4.2	Lista de planos.....	89
4.3	Consideraciones generales respecto a los costos.....	90
4.4	Costos del sistema de elevación.....	91
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....		94
CONCLUSIONES.....		96
BIBLIOGRAFÍA.....		98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Síntesis de los requerimientos	27
Tabla 2.2: Evaluación Técnica	32
Tabla 2.3: Evaluación Económica	33
Tabla 2.4: Valores relativos de evaluación técnico-económica	34
Tabla 3.1 Resultados del dimensionamiento de la ubicación del cilindro hidráulico	42
Tabla 3.2: Fuerza del cilindro hidráulico según alfa	45
Tabla 3.3: Fuerza del sistema de elevación para $k=20$ cm	50
Tabla 3.4: Fuerza del sistema de elevación para $k=58$ cm	50
Tabla 3.5: Fuerza del sistema de elevación para $k=121$ cm	51
Tabla 3.6: Fuerzas descompuestas en los ejes primas del brazo de elevación CB	52
Tabla 3.7: Fuerzas descompuestas en los ejes primas del brazo de elevación AD	52
Tabla 3.8: Propiedades mecánicas de la platina, obtenidas de TRADI S.A.	56
Tabla 3.9: Dimensiones estándar de la platina, obtenidas de TRADI S.A.	56
Tabla 3.10: Resultados de resistencia del material de las platinas disponibles	57
Tabla 3.11: Resultados de resistencia del material para los brazos de elevación	58
Tabla 3.12: Coeficiente β para verificar el límite de deformación de plancha	60
Tabla 3.13: Resultados del cálculo de pasadores	62
Tabla 3.14: Resultados del cálculo para el dimensionamiento de las articulaciones fijas	67
Tabla 3.15: Resultados del cálculo de uniones soldadas en articulaciones fijas	69
Tabla 3.16: Resultados del cálculo de uniones soldadas en el vástago	71
Tabla 3.17: Requerimientos mínimos para selección de cilindro hidráulico	73
Tabla 3.18: Perno de anclaje Kwik Bolt III	80
Tabla 4.1: Lista de planos	89
Tabla 4.2: Costos compra y fabricación de piezas - Parte estructural	91
Tabla 4.3: Costos de equipos y componentes del sistema hidráulico	92
Tabla 4.4: Costos de mano de obra directa (MOD)	92
Tabla 4.5: Estimado total de la inversión	93

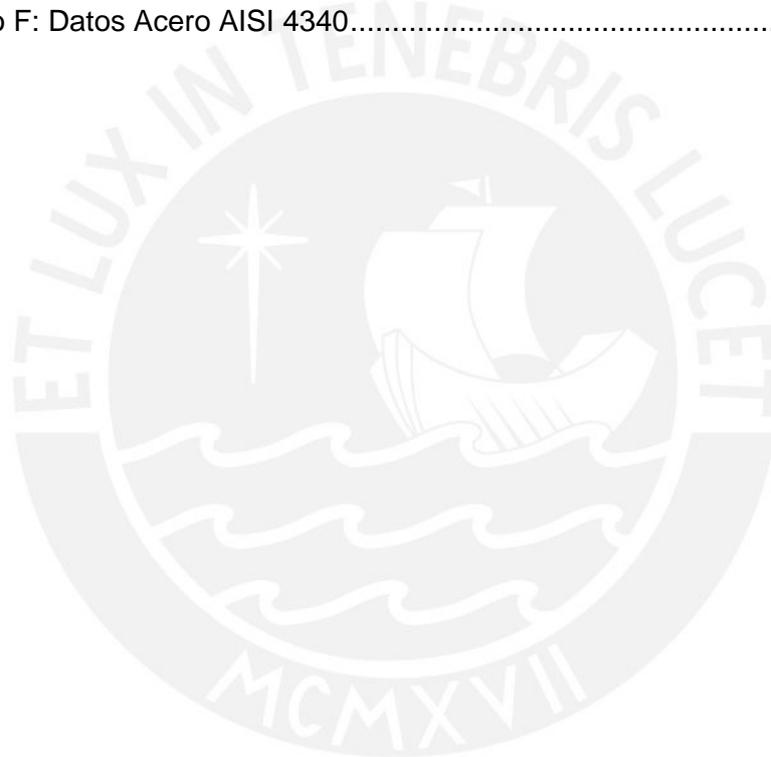
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Elevador clásico para personas.....	4
Figura 1.2: Elevador de carga.....	5
Figura 1.3: Elevador de pasajeros.....	5
Figura 1.4: Elevador de carga y pasajeros.....	6
Figura 1.5: Elevador hidráulico.....	6
Figura 1.6: Elevador vertical.....	7
Figura 1.7: Elevador vertical.....	7
Figura 1.8: Grúa torre.....	8
Figura 1.9: Tecele eléctrico de cadena.....	8
Figura 1.10: Carretilla elevadora eléctrica.....	9
Figura 1.11: Montacargas eléctrico.....	9
Figura 1.12: Tecele eléctrico de cadena.....	10
Figura 1.13: Elevador de pistón lateral.....	11
Figura 1.14: Plataforma hidráulica del tipo tijera.....	11
Figura 1.15: Plataforma vertical.....	12
Figura 1.16: Cabina o bastidor.....	13
Figura 1.17: Grupo tractor de elevación.....	14
Figura 1.18: Componentes de un sistema hidráulico de elevación.....	15
Figura 1.19: Grupo hidráulico.....	15
Figura 1.20: Cilindro - pistón.....	17
Figura 1.21: Componentes de un sistema de elevación electromecánico.....	18
Figura 1.22: Motor acoplado a una polea de tracción.....	19
Figura 3.1: Espacio útil para diseño de la plataforma.....	37
Figura 3.2: Vista 3D del sistema de elevación.....	39
Figura 3.3: Vista frontal del sistema de elevación propuesto.....	40
Figura 3.4: Trabajo virtual en la plataforma de elevación.....	43
Figura 3.5: Grafica Fuerza en el cilindro hidráulico vs ángulo del brazo de elevación.....	46
Figura 3.6: DCL del brazo horizontal AB.....	47
Figura 3.7: DCL del brazo CB.....	48
Figura 3.8: DCL del brazo AD.....	49
Figura 3.9: DCL de fuerzas cortantes y momento flector del brazo de elevación CB.....	53
Figura 3.10: DCL de fuerzas cortantes y momento flector del brazo de elevación AD.....	55
Figura 3.11: Sección de una platina.....	56
Figura 3.12: Estructura de la base.....	58
Figura 3.13: Estructura de la plataforma.....	59
Figura 3.14: Plancha estriada.....	59
Figura 3.15: Fuerzas aplicadas en el pasador.....	61
Figura 3.16: Pasador que se utiliza en las articulaciones fijas.....	62
Figura 3.17: Pasador que se utiliza entre las ruedas y brazos de elevación.....	63

Figura 3.18: Pasador que se utiliza en la parte media de los brazos de elevación.....	63
Figura 3.19: Barra circular que une los brazos de elevación	63
Figura 3.20: Fuerzas y momento flector del vástago a diseñar	64
Figura 3.21: Espesor de las articulaciones fijas proyectado en el pasador	66
Figura 3.22: Articulación fija	67
Figura 3.23: Esfuerzos producidos en el plano del cordón angular	68
Figura 3.24: Caso típico de unión soldada similar al empleado en las articulaciones fijas	68
Figura 3.25: Vista de la unión soldada en la articulación fija.	70
Figura 3.26: Caso típico de unión soldada similar en el vástago circular	70
Figura 3.27: Cilindro hidráulico marca Rexroth	73
Figura 3.28: Vista lateral 1 del cilindro seleccionado.....	74
Figura 3.29: Vista lateral 2 del cilindro seleccionado.....	75
Figura 3.30: Cabeza de rotula de Cilindro hidráulico marca Rexroth	75
Figura 3.31: Carrera máxima admisible del cilindro hidráulico	76
Figura 3.32: Bomba de engranajes marca Cassapa	77
Figura 3.33: Potencia vs velocidad de rotación para bomba PLP 10*1.5	78
Figura 3.34: Perno de anclaje Kwik Bolt III	78
Figura 3.35: Fuerzas para el cálculo de pernos de anclaje.....	79
Figura 3.36: Ruedas	80
Figura 3.37: Vista superior de la estructura de la plataforma.....	81
Figura 3.38 Límite de carrera con varilla de acero para la posición alta de la plataforma	82
Figura 3.39: Límite de carrera con rueda para la posición baja de la plataforma.....	82
Figura 3.40: Sistema hidráulico propuesto.....	83
Figura 3.41: Sistema eléctrico propuesto.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Modelos de estructura de funciones.....	1
Anexo B: Análisis de fuerza cortante y Momento flector en brazos de elevación....	4
Anexo C: Catálogo Cilindro hidráulico Seleccionado	14
Anexo D: Catálogo de pernos de anclaje	29
Anexo E: Catálogo de bomba de engranajes	32
Anexo F: Datos Acero AISI 4340.....	38



INTRODUCCIÓN

Hoy en día, se utilizan diversos tipos de elevadores para el transporte de carga o pasajeros en las diferentes industrias que existen. Estos son de diferentes tamaños y formas.

Actualmente en la sección de Ingeniería Mecánica, se cuenta con un Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada en el cual existe un simulador de marcha que se utiliza para ayudar a personas en condición de discapacidad a recuperarse de diferentes tipos de lesiones físicas. Esta máquina cuenta con dos sistemas neumáticos ubicados a 70 cm de altura cada uno respecto del nivel del suelo, en los cuales el usuario se coloca para realizar diversos ejercicios motrices.

Para acceder a estos elementos neumáticos, el usuario debe subir por una escalera metálica y luego caminar por una estructura semicircular para finalmente acceder al simulador de marcha. En la mayoría de los casos, este proceso de acceso por medio de una escalera suele ser un tanto tedioso y complicado para el usuario debido a la severidad de las lesiones de los mismos, causándoles molestias en el momento del acceso al simulador.

La presente tesis comprende el diseño de un sistema de elevación para trasladar personas en condición de discapacidad con una carga estimada de 300 kg que reemplaza dicha escalera metálica en el laboratorio de tal manera que se facilite el acceso al simulador de marcha.

Entre los objetivos específicos se espera desarrollar una solución compacta que permita reemplazar la escalera utilizando el espacio habilitado en el laboratorio, estimar el costo de esta solución genérica, y desarrollar una solución técnica que permita trasladar dos personas hacia el simulador con precisión y seguridad. El alcance de este trabajo comprende el diseño y selección de los componentes y equipos que se integren para el funcionamiento del elevador.

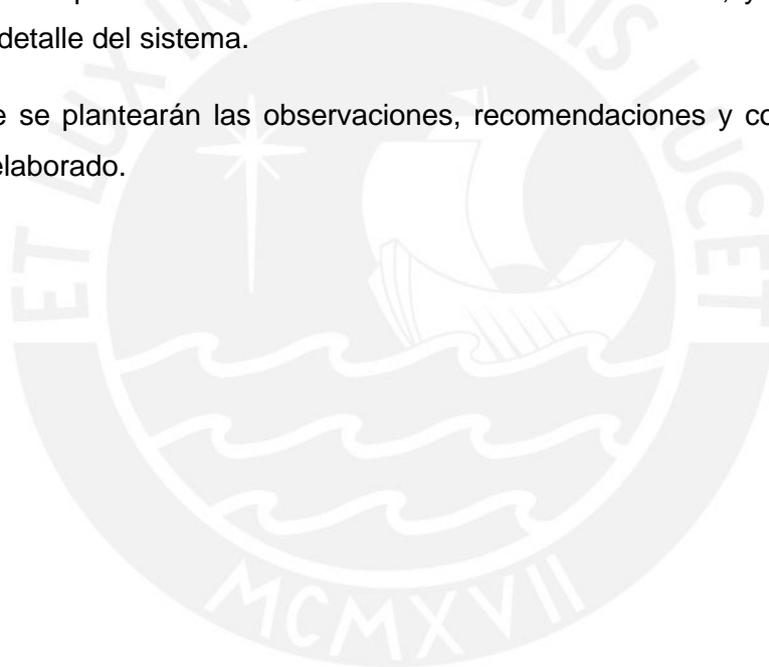
En el primer capítulo de la tesis se dará una descripción de las tecnologías actuales existentes para sistemas de elevación y se mencionará el funcionamiento y como están compuestos los principales sistemas de elevación

En el segundo capítulo, se empleará la metodología según VDI2225 de diseño utilizada en los cursos de ingeniería mecánica para determinar qué tipo de tecnología de elevación es la más apropiada para solucionar el problema propuesto.

En el tercer capítulo, se detallará el diseño de los diversos equipos que conforman el sistema de elevación y se mostrará la respectiva selección de los mismos.

En el cuarto capítulo se estimará el costo total de la inversión, y se mostrarán los planos de detalle del sistema.

Finalmente se plantearán las observaciones, recomendaciones y conclusiones sobre el diseño elaborado.



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo, se desarrollará una breve descripción de los elevadores mostrando todas las tecnologías de elevación que existen actualmente. Además, se mostrará una breve reseña de los componentes principales de un elevador viéndose las diferencias y ventajas de los sistemas de elevación más utilizados.

Asimismo, al tener esta tesis como propósito el diseño de un elevador para personas en condición de discapacidad, se mostrarán con mayor detalle los tipos de tecnologías de elevación existentes para este caso específico.

Finalmente se describirán los aspectos principales que se deberán tomar en consideración para el diseño y la selección del mejor sistema de elevación que permita satisfacer los requerimientos de la tesis. Además, se expondrá una breve reseña de algunas normas técnicas relativas al diseño de un elevador para personas en condición de discapacidad.

1.1 Descripción de los elevadores

Los elevadores son un sistema o máquina de transporte que se utiliza con el propósito de levantar o elevar cargas en una trayectoria definida vertical. Para trasladar estas cargas, ya sean humanas o materiales, se utilizan jaulas, plataformas denominadas cabinas, las cuales se desplazan en guías rígidas en una determinada dirección ya sea vertical u horizontal.

Los elevadores son utilizados ya sea para ascender o descender en un determinado ambiente de trabajo. Un tipo de elevador clásico para transporte de personas se puede apreciar en la figura 1.1, estos están hechos y compuestos por partes mecánicas, hidráulicas, eléctricas y/o electrónicas, las cuales operan de manera conjunta para brindar un servicio eficiente al ser humano.



Figura 1.1: Elevador clásico para personas

1.2 Clasificación de los mecanismos de elevación más utilizados

Actualmente, se puede ver que existen varios tipos de elevadores y diferentes tipos de clasificaciones para éstos. Estos, se clasifican según el tipo de carga u objeto que transportan como se puede apreciar a continuación:

- i) **Elevadores de carga**, normalmente conocidos como carretillas de elevación o montacargas, que son aquellos que se encargan de transportar objetos o

materiales con un determinado peso desde un lugar a otro. Este tipo de elevador se aprecia en la figura 1.2.



Figura 1.2: Elevador de carga

- ii) **Elevadores de pasajeros**, mayormente conocidos como ascensores, son aquellos que se encargan principalmente de transportar personas en trayectorias verticales. Este tipo de elevador se aprecia en la figura 1.3.

Estos pueden ser tanto para personas que se encuentren en plena condición física como para personas que se encuentren en condición de discapacidad o minusválidos.



Figura 1.3: Elevador de pasajeros

- iii) **Elevadores de carga y pasajeros**: son utilizados para transportar tanto cargas como personas según sea la necesidad requerida en lugar en el que se utilicen. Estos mayormente se utilizan en plantas industriales así como en pequeños almacenes y laboratorios. Un ejemplo de este tipo de elevador se puede apreciar en la figura 1.4.



Figura 1.4: Elevador de carga y pasajeros

1.3 Tecnologías de elevación existentes

Mundialmente existen diversos tipos de sistemas de elevación usados en las diferentes industrias. Estos se diferencian según el tipo de aplicación final que se les asigne. A continuación se muestran las principales tecnologías de elevación existentes y las que son de mayor uso por el hombre.

- i. **Elevadores hidráulicos:** U oleo neumáticos, son aquellos que se caracterizan por funcionar en base al empleo de un cilindro hidráulico o pistón que lleva aceite a una presión determinada por dentro, el cual se emplea generando la ascensión del elevador. Son muy utilizados en los talleres de automóviles para elevar los mismos y hacerles el mantenimiento respectivo. Este tipo de elevador se aprecia en la figura 1.5.



Figura 1.5: Elevador hidráulico

- ii. **Elevadores Verticales:** Este tipo de elevador es conocido comúnmente con ascensor, el cual se emplea para transportar personas en una cantidad variable en

una trayectoria vertical. Estos pueden ser tanto hidráulicos como eléctricos siendo los últimos los más utilizados actualmente. Este tipo de elevador se muestra en la figura 1.6.

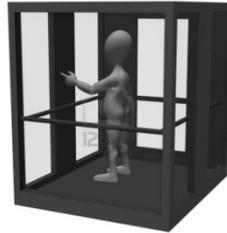


Figura 1.6: Elevador vertical

- iii. **Plataformas elevadoras:** Son mayormente conocidas en el mercado por su forma típica del tipo tijeral como se muestra en la figura 1.7. Estas, son utilizadas principalmente para transportar cargas hacia grandes alturas.

Además, son muy utilizadas en el mercado industrial debido a la flexibilidad que presentan ya que son del tipo móvil siendo transportables a diferentes lugares con la capacidad de transportar cargas muy pesadas.



Figura 1.7: Elevador vertical

- iv. **Grúas torre:** Es un equipo de elevación que se utiliza principalmente en las obras de construcción, el cual sirve para trasladar cargas de mucho peso a elevadas alturas. Este tipo de estructura se muestra en la figura 1.8, siendo por lo general una construcción metálica que permite el desplazamiento vertical, y lateral de cargas suspendidas. Entre las más utilizadas se encuentran la grúa torre con tirantes y la del tipo "Flat Top".



Figura 1.8: Grúa torre

- v. **Tecles:** Son equipos que se utilizan mayormente en las naves industriales que tienen como finalidad levantar objetos para trasladarlos de un lugar a otro. Entre los principales tecles que se pueden encontrar en el mercado, destacan los tecles manuales de cadena, los tecles tipo Ratchet o Señorita de Cadena y el teclé eléctrico de cadena el cual se puede apreciar en la figura 1.9. Este se utiliza principalmente para elevar cargas verticales de hasta 10 toneladas.



Figura 1.9: Teclé eléctrico de cadena

- vi. **Carretilla elevadora:** Es una plataforma que sirve para trasladar y transportar objetos a una determinada altura. Esta puede ser del tipo móvil o fija en una zona determinada. Un ejemplo de carretilla elevadora móvil se puede apreciar en la figura 1.10. Asimismo, puede ser del tipo manual o eléctrica, siendo la última la más utilizada actualmente. Estas requieren ser operadas por una persona y pueden transportar diferentes rangos de pesos según sea necesario.



Figura 1.10: Carretilla elevadora eléctrica

- vii. **Montacargas:** Es una plataforma móvil autopropulsada, que sirve para trasladar y distribuir materiales u objetos ya sea verticalmente u horizontalmente hacia un determinado destino final. Por lo general, estos vehículos se desplazan por el suelo y suelen utilizar pallets para el traslado de los materiales. Este tipo de carretillas son del tipo vehículo con ruedas, el cual requiere de un operario para su conducción y manejo en una determinada zona de trabajo.

Respecto al tipo de combustible que utilizan, existen 3 tipos de montacargas: los que utilizan energía eléctrica, los que utilizan diesel y los que funcionan por medio tipo gas natural. Respecto al tipo de sistema de dirección, estos pueden ser del tipo triciclo y también de 4 ruedas. Este tipo de elevador se aprecia en la figura 1.11.



Figura 1.11: Montacargas eléctrico

1.4 Elevadores para personas en condición de discapacidad

Son aquellos que se utilizan para transportar personas en condición de discapacidad físicas o que cuentan con algún tipo de lesión. Estos equipos, les permitirán acceder a

zonas o aéreas con cierta altura con mayor facilidad. Un claro ejemplo de este tipo de elevador se muestra en la figura 1.12.



Figura 1.12: Tecele eléctrico de cadena

Entren los principales tipos de elevadores para personas en condición de discapacidad encontramos los siguientes:

- i. **Elevador tipo pistón lateral:** Es un dispositivo del tipo hidráulico, el cual cuenta con un pistón por la parte lateral de la plataforma que transporta al usuario, que por lo general es un dispositivo que se traslada en una trayectoria vertical desde del suelo hacia una altura pequeña. Este tipo de elevador se aprecia en la figura 1.13.

El equipo en referencia cuenta con un mando de control incorporado que permite la fácil manipulación del mismo al usuario. Este tipo de elevador es uno de los más utilizados actualmente debido a su fácil montaje y operación



Figura 1.13: Elevador de pistón lateral

- ii. **Plataforma hidráulica del tipo tijeral:** Consiste en una máquina que puede ser fija o móvil y tiene como finalidad trasladar personas desde el suelo hacia una altura determinada. Estas pueden ser tanto eléctricas como hidráulicas siendo las últimas las más utilizadas debido a su bajo costo. Por lo general, esta clase de plataformas trabajan con una fosa en el subsuelo en la cual los tijerales se comprimen como parte del circuito de elevación

Además, cuentan con una cabina cerrada por medio de rejillas, que brindan total seguridad al usuario y aseguran que no exista un descenso repentino al piso. Además, permiten el ingreso de una persona en silla de ruedas con total comodidad. Este tipo de elevadores se aprecia en la figura 1.14.



Figura 1.14: Plataforma hidráulica del tipo tijera

- iii. **Plataforma vertical:** Es un dispositivo del tipo de tracción vertical electro - hidráulica que es diseñado especialmente para el traslado de pasajeros minusválidos o de poca movilidad. Este por lo general puede trasladar peso de hasta 250 kg y es ideal para accesos a locales comerciales o viviendas. Este tipo de elevador es conocido por su forma de compresión la cual se asimila a un resorte, este se aprecia en la figura 1.15.



Figura 1.15: Plataforma vertical

1.5 Componentes de un sistema de elevación

1.5.1 Cabina

Es el elemento portante del sistema de elevación, por el cual se transportará la carga ya sea humana o material. La cabina está constituida por dos partes principales, el bastidor o chasis, el cual es la estructura que soporta a la cabina y la caja o cabina, que es el equipo portante donde se colocará la carga. El dibujo esquemático se aprecia en la figura 1.16, que se muestra a continuación:

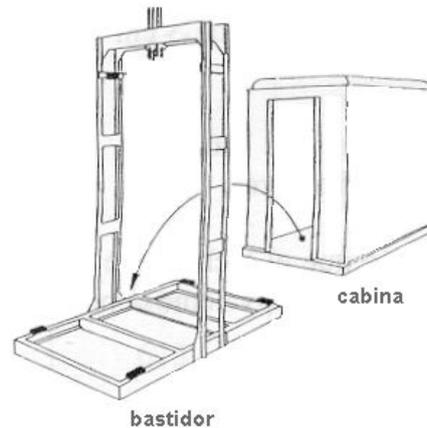


Figura 1.16: Cabina o bastidor

Además, cuenta con un sistema de protección ubicada a los extremos de la misma, ya sea inferior o superior, el cual se activa en caso el elevador superará las velocidades de trabajo normadas ya sea en ascenso o en descenso.

El bastidor es un elemento robusto generalmente de acero en el cual se fijan los cables de suspensión y el mecanismo de paracaídas, mientras que la cabina es el elemento portante que va fijado sobre el bastidor. La cabina, por lo general, está hecha en base a materiales metálicos.

1.5.2 Grupo tractor de elevación

El grupo tractor es el componente principal de los elevadores, tiene como función principal proveer la fuerza motriz ascendente y descendente a los mismos. Este por lo general está conformado por un motor acoplado a un reductor de velocidad por medio de un eje de transmisión en el cual también se monta un mecanismo de control a la salida del mismo que se encarga de proveer el movimiento del sistema de elevación. Entre los mecanismos de control más utilizados figuran las poleas acanaladas y/o tambores. Un ejemplo de grupo tractor de elevación se muestra en la figura 1.17.



Figura 1.17: Grupo tractor de elevación

Existen cuatro tipos principales de grupos tractores elevadores: los sistemas de elevación manual, los de tracción o electromecánicos, los sistemas de elevación hidráulicos y los sistemas de elevación neumáticos.

i) Sistema de elevación manual

Este tipo de accionamiento es normalmente utilizado en máquinas con poca capacidad de carga, las cuales trabajan con pequeñas velocidades de movimiento. Los más comunes de este tipo de sistema de elevación son los tecles o polipastos.

ii) Sistema de elevación hidráulico

Este tipo de sistema es de los pioneros en el transporte de cargas y personas. Se suelen utilizar en edificios de hasta 5 pisos, como montacargas y como elevadores de automóviles.

En la figura 1.18 se puede apreciar todas las piezas y equipos que componen un sistema de elevación hidráulico, debido a que la tesis está enfocada en el desarrollo de un elevador para personas en condición de discapacidad solo se describirán las piezas esenciales de este sistema específico como son el grupo hidráulico y el cilindro hidráulico.

Este sistema es muy empleado debido a que brinda gran seguridad permitiendo la regulación continua de la velocidad así como la posibilidad de un movimiento suave desde el arranque hasta la parada del sistema de elevación. Por lo general el sistema desciende por gravedad con el motor parado. Asimismo, se debe tener en cuenta que su mecanismo brinda la posibilidad de conseguir nivelaciones muy precisas y además

presenta un desgaste mínimo debido a que el sistema en su conjunto funciona en baño de aceite. Entre sus desventajas resalta que tiene un mayor costo que los sistemas de elevación eléctricos.

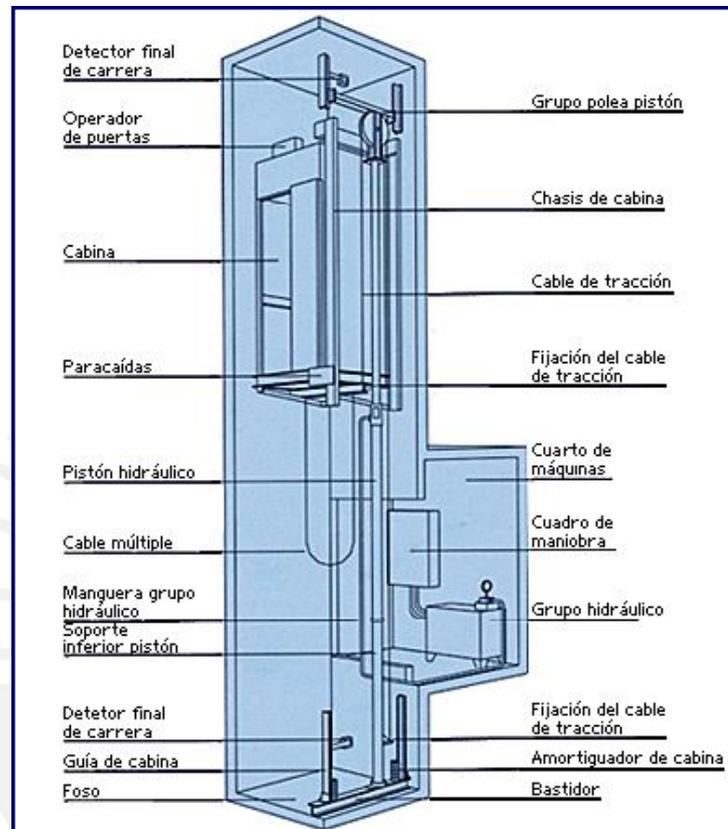


Figura 1.18: Componentes de un sistema hidráulico de elevación

- a) **Grupo hidráulico:** Es el componente principal de un sistema de elevación hidráulico. Esta pieza viene a ser el grupo impulsor del elevador el cual se encarga de generar la presión necesaria en el aceite para impulsar el cilindro pistón del mismo. En la figura 1.19 se aprecia un grupo hidráulico genérico:



Figura 1.19: Grupo hidráulico

El funcionamiento del grupo hidráulico esta dado de la siguiente manera: el motor eléctrico se encarga de accionar una bomba, la cual impulsa y dirige el flujo de aceite a una determinada presión por medio de una tubería o manguera hacia un cilindro, en el cual su pistón sostiene y empuja la cabina del elevador. Además se cuenta con válvulas que regulan el paso de aceite por la tubería.

Está compuesto principalmente por cuatro elementos:

- i. **Motor:** Son básicamente motores asíncronos generalmente con arranque en cortocircuito. Normalmente se ubica el motor junto con su eje en la parte superior del depósito de aceite.
- ii. **Bomba:** Se utilizan bombas de engranajes, de pistones rotativos o de husillos múltiples. Por lo general esta se encuentra sumergida en el depósito de aceite del grupo hidráulico.
- iii. **Depósito de aceite:** Se construye de chapa de acero y debe ser del tamaño suficiente para permitir que el elevador funcione como circuito cerrado. Este cuenta con dos orificios, uno en la parte superior para realizar la carga del mismo y uno en la parte inferior para la descarga. El aceite que debe utilizarse debe estar en un rango de viscosidad de 1,6 a 5,7 E para tener un buen rendimiento.
- iv. **Bloque de válvulas:** Están ubicadas en la parte superior del depósito de aceite y sirven para regular el paso del mismo según el movimiento del elevador.

Para la selección de un sistema de elevación hidráulico se debe tener en cuenta la presión de trabajo del mismo. Por lo general esta se encuentra en función de la carga nominal del elevador y del diámetro del pistón. Normalmente la presión de trabajo por sistema hidráulico no debe ser menor a los 30 bares.

- b) Cilindro - Pistón:** Es la pieza principal del accionamiento mecánico de un elevador hidráulico debido a que se encarga de impulsar la cabina del elevador. Existen dos tipos de accionamiento:

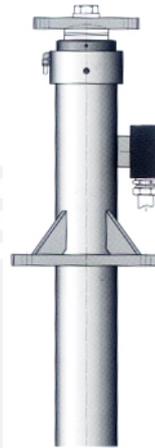


Figura 1.20: Cilindro - pistón

- i. **De acción directa:** Método en el cual la cabina del elevador es impulsada por el pistón por medio de cables.
- ii. **De acción indirecta:** Método por el cual la cabina es impulsada directamente por el pistón.

iii) Sistema de elevación electromecánico

Son sistemas que principalmente funcionan con la utilización de un motor eléctrico el cual se encarga de impulsar la cabina del elevador por medio de cables. En la figura 1.21 se puede apreciar los componentes principales de un sistema de elevación eléctrico. Al igual que en el caso del sistema de elevación hidráulico, solo se detallaran las piezas principales.

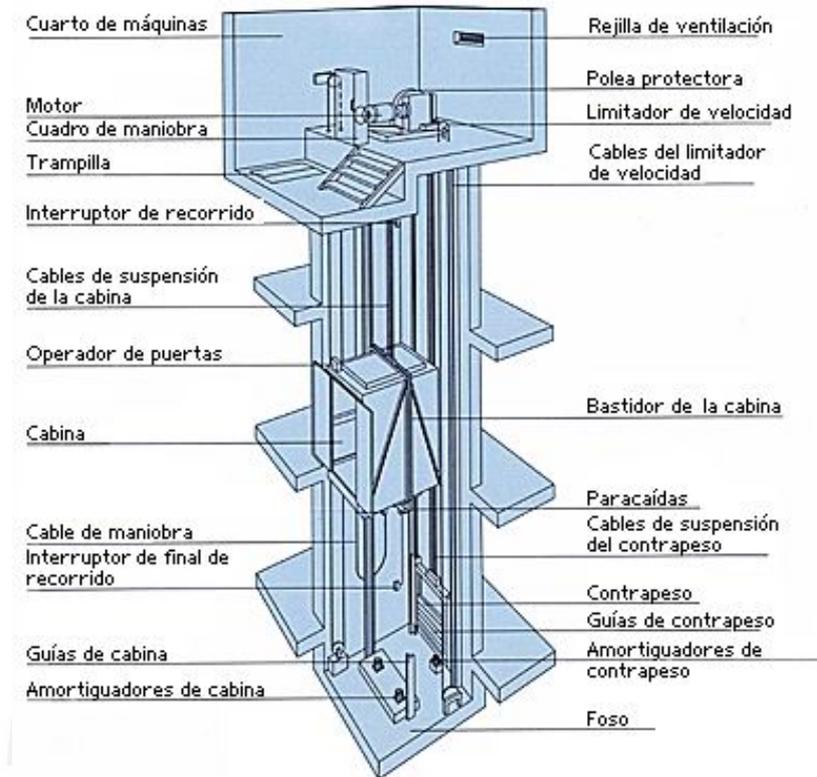


Figura 1.21: Componentes de un sistema de elevación electromecánico

El sistema de elevación electromecánico tiene como equipos principales un motor acoplado a un reductor de velocidad en cuyo eje de salida se encuentra montado el elemento de control de movimiento del elevador, el cual puede ser una polea acanalada de tracción o un tambor donde se enrollen los cables.

En el caso del Motor, por lo general, se utilizan los asíncronos de corriente alterna del tipo jaula de ardilla ya sean de una o dos velocidades o con variadores de frecuencia. Esto debido a que son de menor tamaño, costo y peso que los motores de corriente continua.

Con respecto a la polea de tracción, esta se encuentra ubicada en la parte superior del elevador y tiene como función principal transmitir la tracción por medio de un cable que arrastrará por adherencia al elevador de modo tal que permita regular la transmisión desde el motor hacia el órgano de trabajo. En la figura 1.22 se puede apreciar el motor acoplado a la polea de tracción en un sistema de elevación eléctrico.



Figura 1.22: Motor acoplado a una polea de tracción

Las ventajas de utilizar un accionamiento electromecánico son las siguientes:

- El elevador siempre estará listo para funcionar.
- La posibilidad de instalar cada pieza del mecanismo de elevación individualmente.
- Un alto rendimiento económico
- La posibilidad de regular la velocidad de elevación con mucha precisión.
- Garantiza la seguridad de funcionamiento del elevador.
- Sencillez de construcción del equipo.

1.6 Aspectos técnicos para el diseño sistemas de elevación con personas

1.6.1 Capacidad de carga de un elevador

Esta se determina a partir del peso máximo que se alojará en la cabina o plataforma del elevador sumándosele el peso de la plataforma y cabina así como los dispositivos complementarios que pueda utilizar la máquina.

1.6.2 Factores para determinar la velocidad de un elevador

Los factores que determinan la velocidad de elevación de la cabina o plataforma son los siguientes:

- La altura de elevación

- El tipo de elevador y su respectivo destino
- La restricción de las aceleraciones en los límites que no provoquen efectos desagradables en el organismo humano.

Por lo general el rango de velocidades utilizadas en elevadores para personas en condición de discapacidad es no mayor a 0,10 metros por segundo.

1.6.3 Factores para determinar la potencia requerida por los elevadores

Los factores que determinan la potencia requerida para el grupo tractor de un sistema de elevación son los siguientes:

- La velocidad del sistema de elevación
- La carga total a transportar por el sistema de elevación

1.6.4 Normas técnicas relativas al diseño de un elevador

- a) Persona en condición de discapacidad:** Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, se tiene la norma A.120:"Accesibilidad para personas con discapacidad y de las personas adultas", considerándose una persona con discapacidad a aquella que cuenta con deficiencias en sus funciones físicas, mentales o sensoriales ya sea de manera definitiva o temporal, de modo tal que este impedida de realizar una actividad dentro de las condiciones normales.
- b)** Según el artículo 11 de la norma A.120, los pasamanos de la estructura de la cabina deberán estar ubicados a una altura de 90 cm.

CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se determinará el concepto de solución óptimo a desarrollar para resolver el problema planteado en la presente tesis. Para esto se utilizará la metodología de diseño utilizada en los cursos de Ingeniería Mecánica aplicando la norma VDI 2225.

En primer lugar, se dará a conocer el problema al que se deberá dar solución mediante un análisis donde se indicará el trabajo que se debe realizar. Luego se detallará paso a paso los requerimientos que deberá cumplir el sistema de elevación a desarrollar. En base a estos criterios se realizará una estructura de funciones en donde se apreciarán las funciones parciales con los que deberá contar la máquina a desarrollar.

Luego se mostrará una matriz morfológica en donde se mostrarán bosquejos de las distintas posibilidades de solución a cada una de las funciones parciales mencionadas anteriormente, las cuales combinadas entre sí representaran una gama de posibilidades de solución al problema planteado. Finalmente se realizará una

valoración técnico-económica para determinar cuál de las soluciones planteadas es la óptima para el desarrollo de la máquina.

2.1 Análisis del problema

El Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada de la Sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, cuenta con un simulador de marcha que se utiliza como equipo de pruebas para realizar trabajos de rehabilitación con personas en condiciones de discapacidad como se puede apreciar en la figura 2.1.



Figura 2.1: Laboratorio de robótica

Actualmente, tanto los pacientes como el operario del simulador de marcha utilizan una escalera metálica en forma de L para acceder desde suelo hacia la plataforma del simulador de marcha que se encuentra a 70 cm de altura como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2: Escalera metálica en forma de L

El problema a resolver consiste en sustituir esta escalera metálica en forma de L por un sistema de elevación automático que permita transportar dos personas (paciente y operario del simulador de marcha) por medio de una trayectoria vertical de 70 cm, facilitando el traslado de la persona en condiciones de discapacidad de modo tal que ésta no requiera realizar un esfuerzo físico previo a la utilización del simulador de marcha.

El sistema de elevación a diseñar deberá brindarle toda la seguridad que sea requerida en su traslado a los usuarios y en función a las necesidades del laboratorio respetando el espacio que ocupa la escalera actualmente, es decir que este sistema de elevación deberá ocupar un espacio menor o similar al que utiliza la escalera en el laboratorio.

2.2 Consideraciones y requerimientos al problema planteado

2.2.1 Función principal

El elevador se utilizará para el transporte de dos personas en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada de la Sección Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica. Este transportará a los usuarios por una trayectoria vertical rectilínea desde el piso hacia la plataforma del simulador de marcha que se encuentra a 70 cm de altura desde el suelo.

Se debe tomar en cuenta que uno de los usuarios será una persona en condición de discapacidad. El sistema de elevación tendrá que soportar un peso de 300 kg considerando los dos usuarios y la estructura del mismo.

2.2.2 Estructura

La estructura del elevador deberá soportar el peso de 2 personas durante un viaje en trayectoria vertical rectilínea. Se deberá tener en cuenta el peso de ambas personas así como de la cabina de elevador al momento de determinar el peso máximo admisible que deberá soportar la estructura.

La dimensión de la estructura de la cabina para personas en condición de discapacidad deberá ser de 0,8 metros de ancho por 1.3 metros de profundidad, esto debido a que se aprovechará el máximo espacio del que se dispone en el laboratorio. Los pasamanos de la cabina deberán estar ubicados a una altura de 90 cm de modo tal que brinden comodidad y seguridad a los usuarios.

2.2.3 Aplicación

El diseño del elevador servirá para reemplazar la escalera que se encuentra en el laboratorio de Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada, facilitando el acceso de una persona en condición de discapacidad al simulador de marcha del laboratorio, el cual se encuentra ubicado a 70 cm del piso.

2.2.4 Dimensiones:

El máximo espacio a ocupar del elevador dentro del laboratorio deberá ser del área existente en el laboratorio, es decir el elevador no podrá ocupar un espacio mayor al de la escalera metálica y de ser posible deberá tener dimensiones inferiores a esta. Esta área es de 1.36 m², teniéndose 0.8 metros de ancho por 1.7 metros de largo aproximadamente disponibles

2.2.5 Desplazamiento y velocidad

El elevador deberá realizar un movimiento en una trayectoria vertical tanto ascendente como descendente para desplazarse. La velocidad de desplazamiento para personas en condición de discapacidad debe estar en un rango no mayor a los 0,1 metros /segundo. Al tener que elevarse únicamente 70cm respecto del suelo se ha creído conveniente que la velocidad de desplazamiento del elevador sea de 5 cm/segundo.

2.2.6 Materiales

El sistema de elevación deberá ser construido en base a materiales que garanticen la rigidez y estabilidad del mismo de modo tal que en los trayectos de ida y vuelta del elevador no se generen deformaciones en las piezas que lo componen.

Asimismo, el abastecimiento de sus componentes debe ser de fácil obtención en el mercado local permitiendo la rapidez de los trabajos de mantenimiento en caso se tenga que sustituir algún componente.

2.2.7 Costos

El elevador deberá ser lo más económico posible en función de su eficiencia, según la valoración técnico – económica del presente capítulo, es decir deberá ser construido en base a materiales que obtengan la mejor relación coste/beneficio Asimismo, se debe tener en cuenta los costos de mantenimiento del mismo, los cuales deberán ser los más económicos posibles.

2.2.8 Operación

El elevador deberá proveer al usuario una interfaz amigable y eficiente para la operación y manipulación del mismo. En tal sentido, los pasajeros deberán acceder a un mando de control de subida y bajada del elevador, el cual deberá ser fácil de manipular dentro de la cabina del mismo. Asimismo se debe considerar la posibilidad de que un tercer usuario pueda direccionar el elevador a distancia, es decir deberán existir controles para la regulación del movimiento del elevador dentro de un tablero de control cercano al equipo de elevación.

2.2.9 Seguridad

El elevador deberá cumplir con todas las medidas de seguridad que aseguren el funcionamiento sin mayores inconvenientes de la plataforma elevadora, garantizando la seguridad y salud de las personas que transporte. El elevador deberá estar ubicado a nivel del suelo o deberá contar una plataforma que permita la seguridad de los pasajeros al momento de acceder al mismo. Además, la cabina del mismo deberá tener barandas que eviten la caída de los pasajeros al suelo.

2.2.10 Ergonomía

El diseño del elevador deberá garantizar una fácil manipulación del mismo, es decir la persona que utilice el equipo deberá acceder con facilidad a los controles del mismo, a la par que el acceso a la cabina del elevador deberá ser lo más sencilla posible, contemplando los espacios necesarios para que el usuario ingrese sin dificultad y no tenga que inclinarse o comprimirse para acceder al mismo.

2.2.11 Mantenimiento

El diseño y selección del tipo de elevador deberá considerar el plan de mantenimiento preventivo en forma regular del equipo de modo tal que el diseño a utilizar funcione correctamente durante un tiempo prolongado, garantizando la seguridad y confort de los usuarios.

Finalmente se muestra a continuación la Tabla 2.1 en donde se expone una breve síntesis de los requerimientos planteados anteriormente con la finalidad de que el lector de esta tesis pueda ubicar con facilidad los requerimientos de la misma:

Tabla 2.1: Síntesis de los requerimientos

Núm.	Denominación	Requerimiento
1	Función	Traslado de 2 personas (una en condición de discapacidad, 300 kg aprox.)
2	Estructura	Soportará dos personas, cabina de 0,8 metros x 1,3 metros
3	Aplicación	Elevador para reemplazo de escalera en el Laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada
4	Dimensiones	Espacio a utilizar de 1.36metros cuadrados (a=0.8 m, b=1.7m ,)
5	Desplazamiento	Trayectoria vertical a velocidad cte. de 0,05 metros/segundo
6	Materiales	Disponibles en mercado nacional, sólidos y rígidos
7	Costos	óptima relación beneficio - costo
8	Operación	Control del elevador dentro y fuera del mismo
9	Seguridad	Viaje seguro de los pasajeros
10	Ergonomía	Elevador totalmente manipulable, de fácil acceso a la cabina
11	Mantenimiento	Recomendaciones de mantenimiento preventivo

2.3 Estructura de funciones

Siguiendo con la metodología de diseño se procede a desarrollar las funciones básicas y esenciales con las que deberá contar el sistema de elevación a desarrollar. Estas funciones en conjunto forman la denominada caja negra la cual es el grupo de operaciones del tipo técnico con las que deberá cumplir la máquina para un correcto funcionamiento. Esta caja negra estará involucrada directamente con parámetros de ingreso y salida que modifican el funcionamiento de la máquina en desarrollo.

Este conjunto de funciones parciales son la base que permitirá obtener luego distintas soluciones al problema planteado. Para el caso del diseño del elevador para personas en condición de discapacidad se han desarrollado 4 modelos con diferentes variaciones respectivamente. A continuación se presenta una de las soluciones, la cual es considerada como la más completa por el autor de esta tesis. Esta se muestra en la figura 2.3. El resto de estructuras de funciones desarrolladas se podrán apreciar en el anexo “A” de la presente tesis.

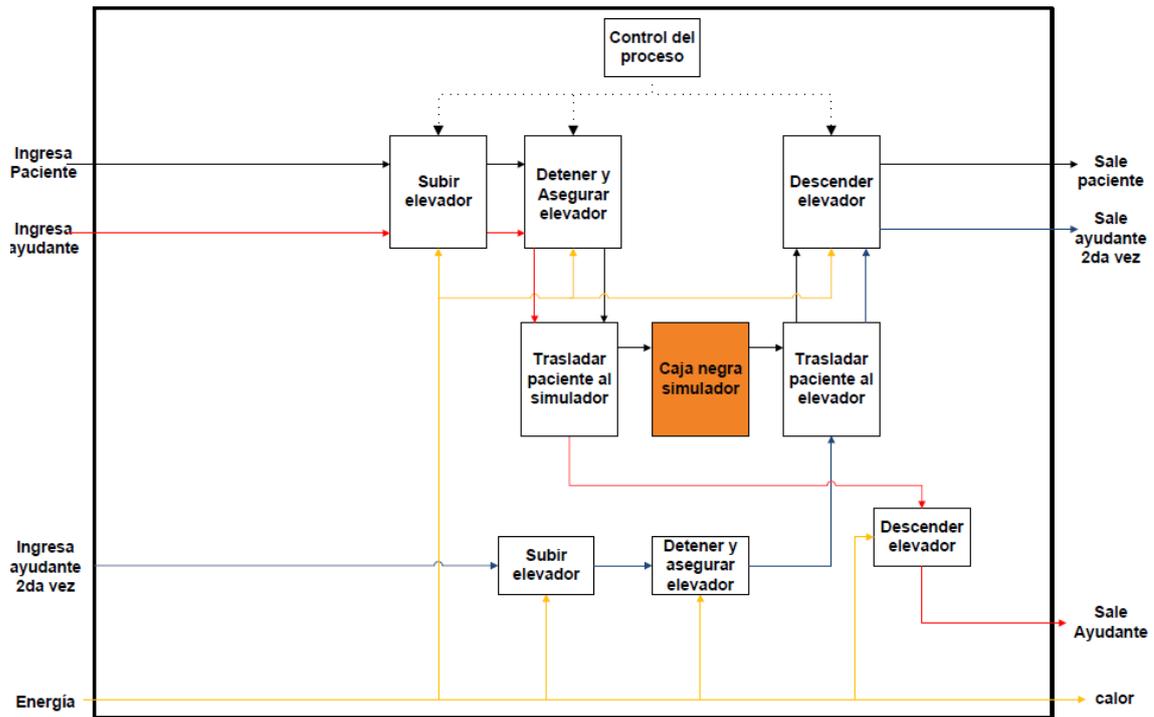


Figura 2.3: Estructura de Funciones Óptima

La estructura de funciones mostrada se realizó tomando en consideración los siguientes criterios:

- a) Se ha considerado la intervención de dos usuarios en la utilización del elevador: El paciente el cual es la persona en condición de discapacidad que será tratado en el simulador de marcha y un ayudante el cual se encargará de trasladar y colocar a la persona en condición de discapacidad en el simulador.
- b) Se ha tomado en cuenta que tanto el paciente como el ayudante tengan posibilidad de manipular el elevador. Es decir el paciente y el ayudante podrán accionar el elevador desde la cabina. Asimismo el ayudante podrá operar el elevador externamente.
- c) Se ha considerado que el ayudante del paciente intervenga dos veces en la estructura de funciones. Esto es debido a que en un primera instancia este ayudará al paciente a instalarse en el simulador de marcha, luego bajará del elevador y esperará afuera del mismo el tiempo que tome las pruebas médicas.

En una segunda instancia, al terminar las pruebas médicas, el ayudante volverá a ingresar al elevador para ayudar al paciente a trasladarse al elevador para luego poder descender.

- d) Se debe tener en cuenta que el ayudante es la persona que colocará a la persona en el simulador de marcha y que además será la persona que opere y controle los movimientos del mismo.

Dicho esto se procede a explicar la secuencia de funciones parciales seleccionadas en la estructura de funciones óptima con las que deberá contar el sistema de elevación para un funcionamiento eficiente. Éstas se explicarán a partir de los parámetros de entrada al sistema.

- i. **Ingreso de ayudante y paciente:** Se refiere al ingreso de los usuarios mencionados a la cabina del sistema de elevación.
- ii. **Subir elevador:** Se refiere a la acción de utilizar el botón de ascenso del sistema de elevación con la finalidad de que se inicie el traslado de los pasajeros hacia la máquina de rehabilitación. Esta acción puede ser efectuada tanto por el paciente como por el ayudante y por el operario del equipo médico.
- iii. **Detener y asegurar elevador:** Se refiere a la función de detención del elevador al momento de llegar a su destino y asimismo de verificar que este se mantenga fijado y estable de modo tal que no se produzca movimiento alguno al momento de movimiento sobre la plataforma.
- iv. **Trasladar paciente al simulador:** Se refiere a la acción en la cual el ayudante traslada al paciente al simulador de marcha ayudándolo a acomodarse para que listo para las pruebas de rehabilitación.
- v. **Caja negra simulador:** Se refiere a las pruebas de rehabilitación que realiza el paciente en el simulador de marcha. El detalle de estas pruebas no está

contemplado en el alcance de esta tesis por que se le considera una segunda caja negra cerrada.

- vi. **Trasladar paciente al elevador:** Se refiere a la acción en la cual el ayudante traslada al paciente del simulador de marcha hacia el elevador.
- vii. **Descender el elevador:** Se refiere a la acción de utilizar el botón de descenso del sistema de elevación con la finalidad de que se inicie el traslado de los pasajeros hacia el suelo. Esta acción puede ser efectuada tanto por el paciente como por el ayudante y por el operario del equipo médico.
- viii. **Salida de ayudante y paciente:** Se refiere a la salida de los usuarios mencionados de la cabina del sistema de elevación.

2.4 Matriz morfológica

Luego de haber seleccionado la estructura de funciones óptima se procede a realizar la matriz morfológica en donde se presentan tres posibles conceptos de soluciones al problema planteado. Esta matriz se muestra en la figura 2.4.

Para el desarrollo de esta matriz se plantean tres soluciones denominadas de la siguiente manera:

- a) Solución 1: Elevador hidráulico del tipo tijeral
- b) Solución 2: Elevador electromecánico con polea acanalada
- c) Solución 3 Elevador electromecánico con pistón

DISEÑO DE UN ELEVADOR PARA PERSONAS EN CONDICION DE DISCAPACIDAD		Version 1		
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Fecha: 11/04/2013		
		Realizado por: Johnny Guerrero C.		
Funcion parcial	Portadores de funciones			
	1	2	3	
Ingresan pasajeros				
Tipo de cabina				
Alimentación de energía		 Red Alterna - Monofásica	 Red Alterna - trifásica	
Sistema motriz		 Motor cc	 Motor jaula de ardilla	
Encender elevador				
Subir elevador				
Mecanismo elevador				
Detener y asegurar elevador	 Tope			
Trasladar a paciente a simulador				
Descender elevador				
Salen pasajeros				
Soluciones	Solucion 1	Solucion 2	Solucion 3	

Figura 2.4: Matriz Morfológica

2.5 Evaluación técnico – económica de los conceptos de solución

En base a las tres soluciones presentadas se procede a realizar el análisis técnico - económico de las mismas que permita determinar el concepto de solución óptimo para el problema planteado. Para esto se ha utilizado el método de diseño según la norma VDI 2225, que permitirá seleccionar la opción que presente la mejor relación beneficio/costo para el desarrollo del sistema de elevación para personas en condición de discapacidad.

En primer lugar se realiza la valoración técnica de las posibles soluciones. Esta se realiza tomando en cuenta catorce criterios de evaluación los cuales se catalogan con distintos pesos “g” según la importancia de los mismos con respecto al desarrollo del sistema de elevación. Asimismo a cada solución se le asigna un puntaje “p” según el criterio siendo 4 el puntaje ideal. Esto se puede ver en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Evaluación Técnica

N°	Criterio de evaluación	Proyecto								
		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. ideal		
		g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	3	4	12	3	9	3	9	4	12
2	Forma	3	3	9	1	3	1	3	4	12
3	Diseño	2	3	6	3	6	2	4	4	8
4	Seguridad	3	3	9	3	9	2	6	4	12
5	Ergonomía	2	3	6	3	6	3	6	4	8
6	Fabricación	3	3	9	2	6	2	6	4	12
7	Montaje	3	3	9	2	6	2	6	4	12
8	Manipulación	2	3	6	3	6	3	6	4	8
9	Transporte	1	3	3	2	2	2	2	4	4
10	Uso de energía	2	2	4	3	6	2	4	4	8
11	Mantenimiento	2	4	8	2	4	2	4	4	8
12	Estabilidad	2	2	4	3	6	3	6	4	8
13	Confiabilidad	2	3	6	2	4	2	4	4	8
14	Rigidez	1	2	2	2	2	2	2	4	4
	Total			93		75		68		124

En el criterio p: 4: ideal; 3: cumple muy bien; 2:cumple bien; 1:cumple regular; 0:nocumple
 En el criterio g: 3: muy importante; 2:importante; 1:poco importante

Finalmente se obtiene una puntuación total por cada solución, las cuales se comparan con los valores de la solución ideal para obtener los valores relativos de los mismos. Estos se obtienen mediante la siguiente fórmula:

$$X_i = \frac{g_1p_1+g_2p_2+\dots+g_np_n}{(g_1+g_2+\dots+g_n)p_{ideal}} \tag{2.1}$$

En segundo lugar, se realiza la valoración económica de los conceptos de solución. Para esto también se utiliza la asignación de peso ponderado y puntaje mencionado en el criterio técnico líneas arriba. Por lo tanto, se realiza la evaluación económica en base a 5 criterios de evaluación los cuales se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Evaluación Económica

Núm.	Criterio de evaluación	Proyecto								
		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Sol. ideal		
		g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costo de material	2	8	16	9	18	9	18	7	14
2	Costo de Fabricación	3	8	24	8	24	8	24	7	21
3	Costo de mano de obra	2	7	14	8	16	8	16	7	14
4	Costo de montaje	3	8	24	8	24	8	24	7	21
5	Costo de mantenimiento	3	8	24	9	27	8	24	7	21
	Total			102		109		106		91

En el criterio p: 7: ideal; 8: cumple muy bien; 9:cumple bien; 10:cumple regular; 11:nocumple
En el criterio g: 3: muy importante; 2:importante; 1:poco importante

Se obtiene una puntuación final por cada concepto de solución del mismo modo que en la evaluación económica. Por lo tanto, se procede a determinar los valores relativos los cuales se determinan de la siguiente manera:

$$Y_i = \frac{(g_1+g_2+\dots+g_n)p_{ideal}}{g_1p_1+g_2p_2+\dots+g_np_n} \tag{2.2}$$

Los resultados de los valores relativos obtenidos tanto en la valoración técnica como la económica muestran en la Tabla 2.4. Se consideran como valores aceptables para una solución aquellos que se encuentren por encima de 0,6

Tabla 2.4: Valores relativos de evaluación técnico-económica

	Eje x (Valoración técnica)	Eje y (Valoración Económica)
Solución 1	0.75	0.89
Solución 2	0.6	0.83
Solución 3	0.55	0.86

Finalmente se realiza una gráfica cartesiana en la que se ubican los 3 conceptos de solución correspondientes a las coordenadas obtenidas en las valoraciones técnica y económica. Se determina como el concepto de solución óptimo a aquellas soluciones cuyos valores relativos se encuentren por encima de 0,6 tanto en el eje 'x' como en el eje 'y'. Si se diese el caso de que una o más soluciones cumplan con este requisito se determina como óptima a la solución que esté más cercana a la recta de pendiente 45° que representa el lugar geométrico ideal para un concepto de solución. Esta gráfica se muestra a continuación en la figura 2.5. A partir de esta gráfica se puede determinar que el concepto de solución óptimo es el de la solución 1 (S1).

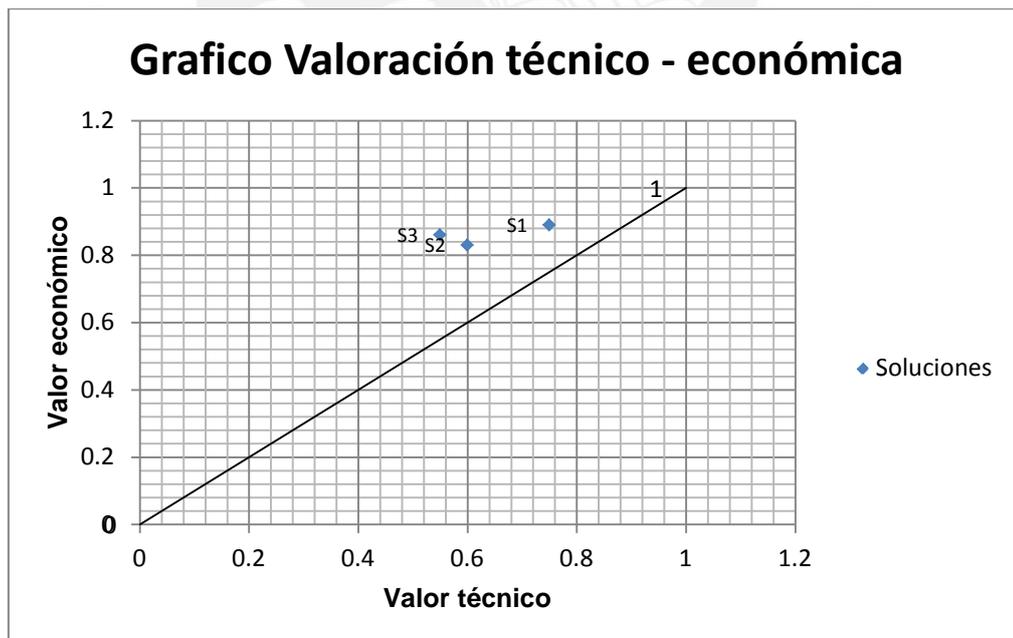


Figura 2.5: Gráfico valoración técnico - económico

2.6 Concepto de solución óptimo

En la figura 2.6 se muestra un bosquejo del mejor concepto de solución que corresponde al sistema de elevación tipo tijera. En ésta se aprecia el elevador así como el grupo hidráulico del mismo y el tablero de control de todo el sistema de elevación. Además se indica tanto la zona de ingreso al elevador como la zona de salida del elevador hacia el simulador de marcha. Además se puede apreciar en la figura que dentro del diseño se ha considerado tener una fosa de 40 cm de fondo en donde se comprimirá el elevador de tal forma que la plataforma de éste, se mantenga al nivel del suelo para un fácil acceso de los usuarios. Se recomienda que el grupo hidráulico se ubique en la zona posterior de los cilindros hidráulicos, mientras que el tablero de control debe estar ubicado cercano al elevador para su operación. Se aclara que el bosquejo presentado no respeta proporciones.

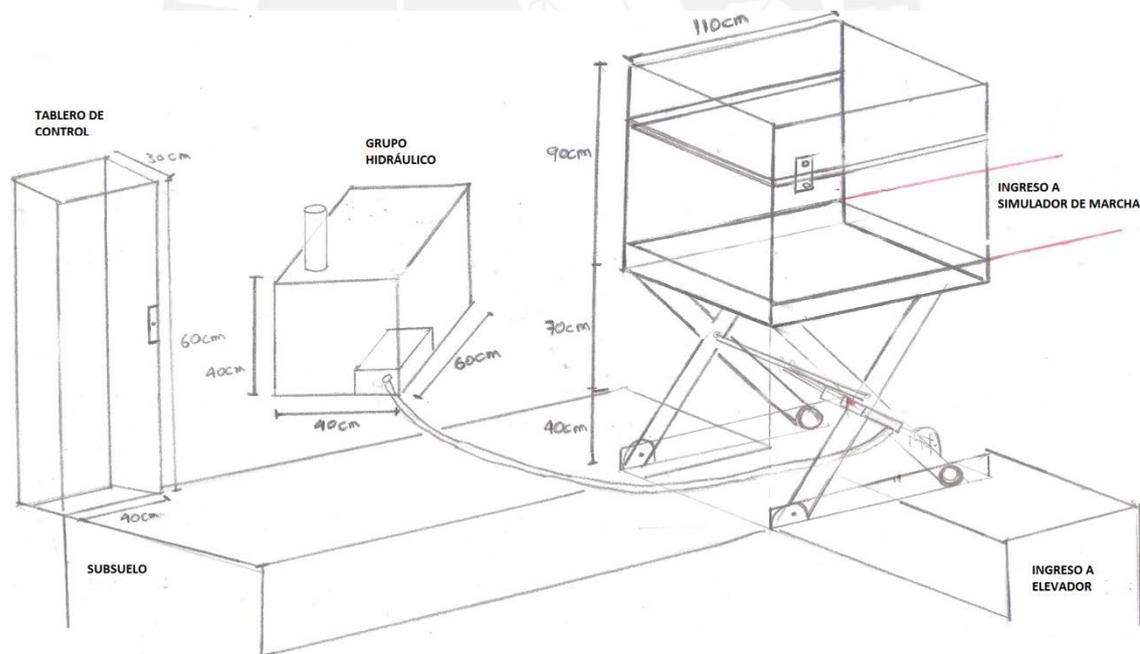


Figura 2.6: Bosquejo de Concepto de solución óptimo

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL PROYECTO ÓPTIMO

En el presente capítulo se mostrarán y explicarán todos los cálculos que conducen a dimensionar el sistema de elevación propuesto en el capítulo 2, es decir el concepto de solución óptimo elegido denominado "elevador de plataforma tipo tijera".

Luego se mostrarán todos los cálculos complementarios en el diseño del sistema de elevación, necesarios para la selección de los materiales que garanticen la seguridad de los usuarios del sistema de elevación. Es importante mencionar que también se analizó la posibilidad de que los componentes fallen por fatiga, sin embargo se descartó esta posibilidad debido al reducido número de ciclos de carga alternante que tendrá el elevador en su funcionamiento.

Por último, se efectuarán los diversos cálculos de la parte hidráulica-mecánica del sistema, los cuales garantizarán el correcto funcionamiento del equipo. En base a estos cálculos se seleccionarán los diferentes equipos y componentes hidráulicos, mecánicos y eléctricos que utilizará el sistema de elevación propuesto.

3.1 Consideraciones previas al cálculo

- i. Se sabe que el espacio disponible para la instalación del sistema de elevación es de 0,80 metros de ancho por 1,70 metros de largo. Se ha decidido utilizar un espacio de 0,80 metros de ancho por 1,30 metro de largo para el dimensionamiento del sistema de elevación, con lo cual se cumple con las premisas de utilizar y reducir el espacio ocupado por la escalera metálica existente en el laboratorio.
- ii. Se hará una fosa de cemento 0.3 metros de profundidad con la finalidad de tener la plataforma del sistema de elevación al mismo nivel del suelo del laboratorio en el momento que ésta se encuentre en su punto máximo de retracción fijado, de manera tal que los usuarios accedan a la plataforma con el mínimo esfuerzo posible.

Respecto al diseño y dimensionamiento del elevador y la fosa, se ha considerado dejar un espacio de 2 cm a cada lado respecto de la plataforma de elevación. Por esta razón, la plataforma del sistema de elevación a diseñar tendrá un espacio útil para su dimensionamiento de 76 cm de ancho por 126 cm de largo. Esto se aprecia en a figura 3.1.

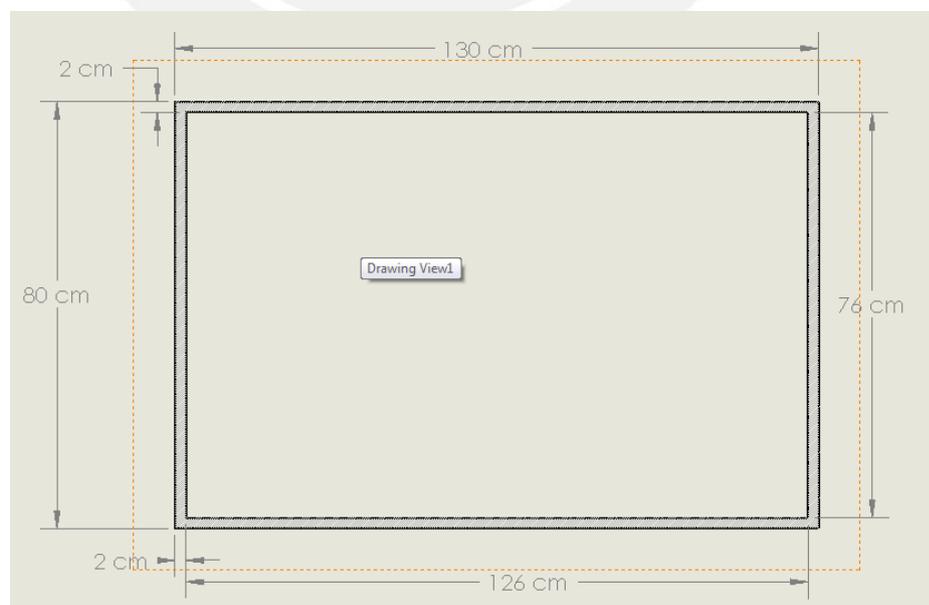


Figura 3.1: Espacio útil para diseño de la plataforma

- iii. Se ha considerado para el cálculo de las distintas fuerzas involucradas en el sistema de elevación que los componentes del sistema se encuentran en estado estático, esto debido a que la velocidad de elevación será de 5 cm/s constante durante todo el recorrido vertical de la plataforma por cual la aceleración en este tramo será nula y por lo tanto es despreciable.

Asimismo la aceleración que tendrá la plataforma desde el momento de su puesta en marcha hasta alcanzar la velocidad de crucero de 5 cm/s así como la que tendrá cuando frene para llegar su destino final es despreciable. Esto se deduce mediante la expresión 3.1 mostrada a continuación:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_f - V_o}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Se asume que el tiempo que tomará la plataforma en alcanzar la velocidad final de crucero (V_f) de 5cm/s será de 2,5 segundos por lo tanto la aceleración será de 2 cm/s² con lo cual se considera despreciable para las masas involucradas.

- iv. El tiempo de elevación de la plataforma será de 14 segundos para ascender desde el nivel del suelo hacia el simulador de marcha el cual se encuentra a 70 cm de altura respecto del nivel del suelo.
- v. No se tomará en cuenta el peso propio de cada elemento del sistema de elevación sino el peso total como conjunto lo cual comprende el peso de dos personas (120 kg por persona aproximadamente) más el peso de la estructura aplicándole adicionalmente un factor de seguridad, con lo cual se tiene una carga máxima a soportar por el sistema de elevación de 300 kg.
- vi. Los diversos cálculos de fuerzas en el sistema de elevación así como los de resistencia de materiales que permiten dimensionar y seleccionar los componentes del diseño propuesto se realizaron mediante un cuadro de datos utilizando el software Microsoft Excel, el cual fue muy útil para el desarrollo de la presente tesis.

3.2 Dimensionamiento del sistema de elevación

El sistema propuesto involucra la utilización de dos cilindros hidráulicos que accionarán dos pares de brazos en forma de tijera para elevar la plataforma. A continuación se muestra en la figura 3.2 una proyección isométrica 3D del sistema de elevación propuesto, en la cual se aprecian los diferentes equipos que lo conforman, además, se muestra la figura 3.3, la cual corresponde a una vista frontal de sistema de elevación en donde se muestran las principales cotas del sistema que se dimensionarán. Asimismo se muestra la simbología que se utiliza para dimensionar cada parte del sistema.

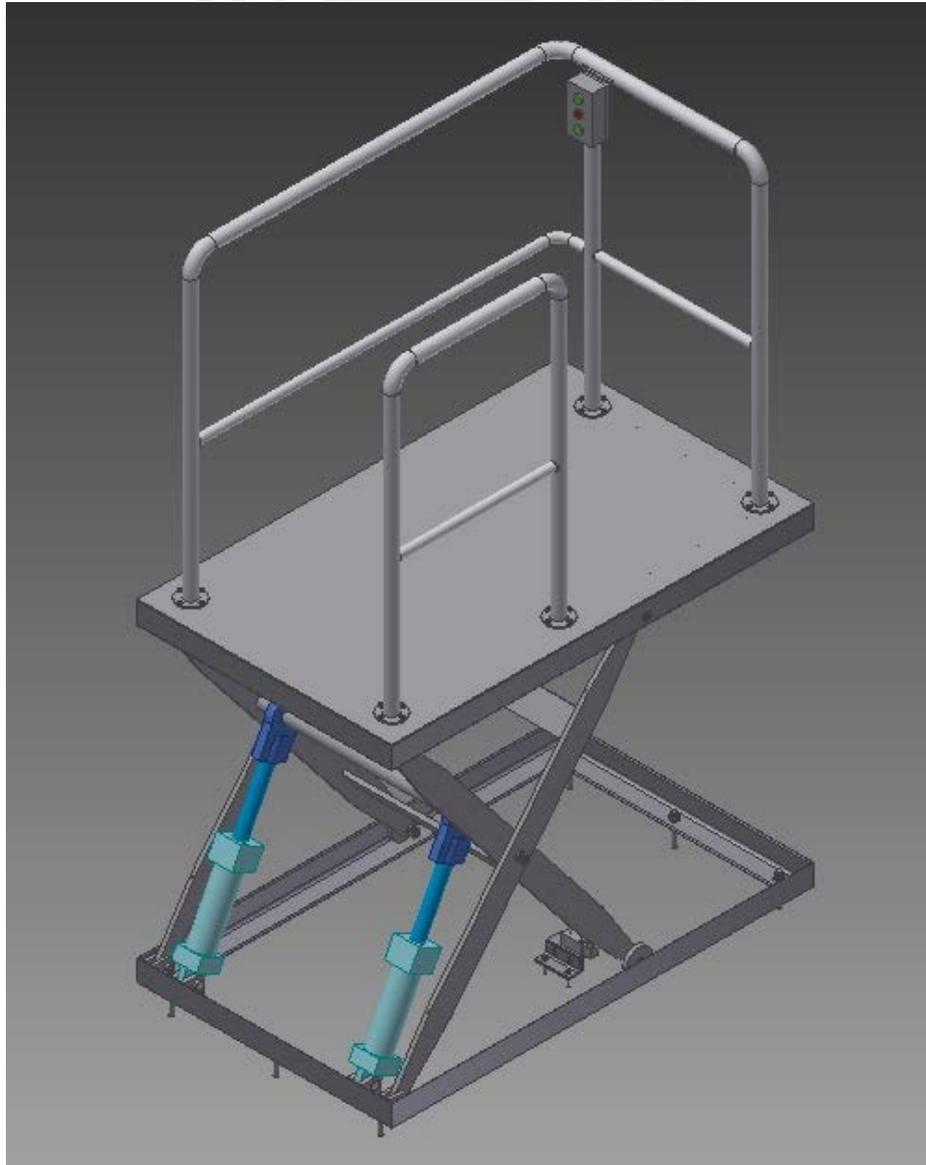


Figura 3.2: Vista 3D del sistema de elevación

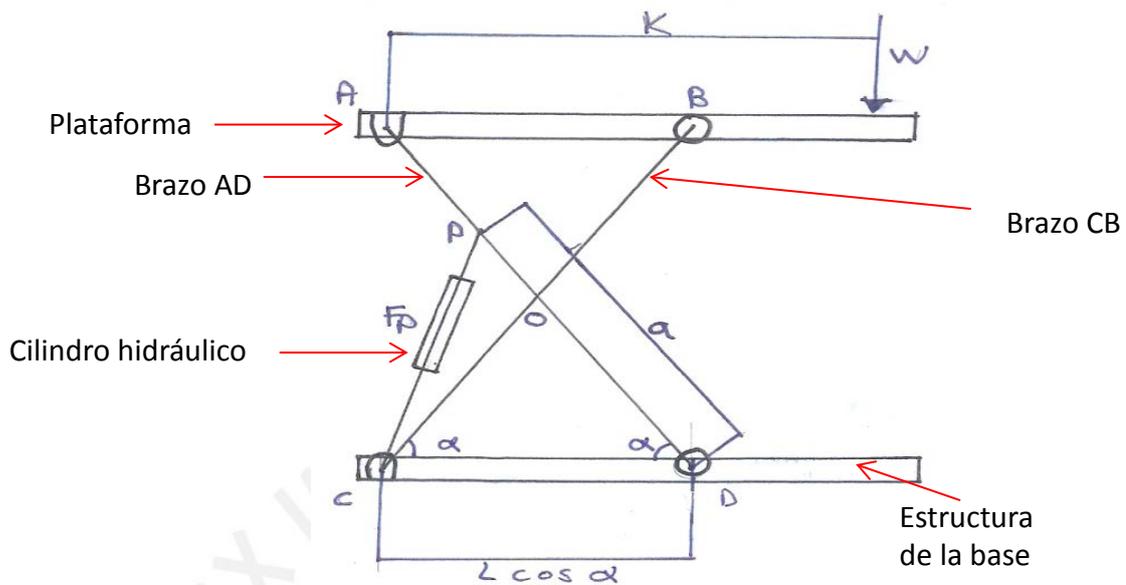


Figura 3.3: Vista frontal del sistema de elevación propuesto

En la figura 3.2 se aprecia que las articulaciones fijas de los cilindros hidráulicos se encuentran en un plano paralelo al de las articulaciones fijas de los brazos de elevación, definiéndose así debido a que de esta manera se obtuvieron menores valores de fuerza en comparación a los valores obtenidos colocando los cilindros hidráulicos en una posición diferente.

En la figura 3.3 se aprecia que los cilindros hidráulicos estarán ubicados en un punto "P" respecto de los brazos de elevación a una distancia fija denominada "a" respecto de la articulación móvil "D". Se ha determinado que los brazos de elevación AD y CB de la plataforma tengan una longitud "L" de 116 cm de tal manera que se puede alcanzar la elevación de 70 cm requerida.

Se procede a determinar las dimensiones óptimas en donde se deberá colocar el actuador hidráulico respecto al brazo de elevación AD, para tal efecto se plantea lo siguiente:

Se define la ubicación del punto P, el cual varía de posición con el movimiento del tijeral debido a que el actuador hidráulico se extiende o se acorta. Este punto P

pertenece al brazo AD y se ubica a una distancia “a” respecto de la articulación móvil “D”. La ubicación de este punto respecto de la articulación móvil condiciona las cargas del actuador hidráulico, por lo que es importante determinar la ubicación óptima del punto “P” ya que define la distancia “a” y la distancia variable “CP”.

El análisis de cargas en el cilindro hidráulico desarrollado en el acápite 3.3, permite establecer la relación que se muestra en la ecuación 3.2.

$$a > L/2 \quad (3.2)$$

Sabiendo que la distancia del brazo de elevación denominada “L” es de 116 cm, se define que la distancia “a” deberá ser mayor a 58 cm. Por lo tanto, se plantea ubicar el actuador hidráulico lineal en 5 diferentes posiciones respecto de la articulación móvil “D”: 40, 65, 70.5, 80, y 90 cm, lo que permite calcular las fuerzas requeridas para las 5 distancias en función del ángulo del brazo de elevación denominado “ α ”.

Entonces, para establecer la dimensión “a” óptima se plantea determinar para cada una de las posiciones planteadas lo siguiente:

- i. Determinar la distancia más corta de CP (S_o), la cual corresponde a la posición más baja de la plataforma a una altura de 21.1 cm y una inclinación del brazo de 10.5° respecto del nivel de la estructura de la base
- ii. Determinar la distancia más larga de CP (S_f), la cual corresponde a la posición más elevada de la plataforma a una altura de 91.4 cm y una inclinación del brazo de 52° respecto del nivel de la estructura de la base.
- iii. Determinar la carrera de trabajo del actuador hidráulico la cual estará definida por la posición más baja y la posición más alta de la plataforma como se muestra en la expresión 3.3. Esta carrera de trabajo deberá ser menor a la carrera máxima que deberá tener el actuador hidráulico seleccionado.

$$Ct = S_f - S_o \quad (3.3)$$

- iv. Determinar la fuerza del cilindro hidráulico para la posición más crítica de retracción del sistema de elevación es decir para la ubicación del brazo de elevación respecto del suelo para $\alpha=10.5^\circ$.
- v. Verificar que la distancia más corta de CP (S_0) que corresponde a la posición más baja de la plataforma, sea mayor a la carrera de trabajo del actuador hidráulico.

Los resultados obtenidos para las 5 premisas mencionadas se muestran a continuación en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resultados del dimensionamiento de la ubicación del cilindro hidráulico

Distancia "a" (cm)	Distancia CP más corta (cm)	Distancia CP más larga (cm)	Carrera del cilindro hidráulico	Condición carrera < Distancia CP más corta	Fuerza crítica del cilindro hidráulico (kg)
40	75.1	56.4	-18.7	no cumple	-3433
60	51.5	60.1	8.6	cumple	6058
70.5	46.5	62.2	15.8	cumple	3065
80	38.3	66.8	28.5	cumple	1432
90	30.4	72.7	42.3	no cumple	781

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 3.1 se puede verificar que la hipótesis presentada en la expresión 3.2 es correcta ya que para una distancia "a=40 cm" se obtienen valores negativos tanto para la carrera de trabajo del actuador como para la fuerza crítica del mismo, con lo cual se descarta esta opción.

Asimismo, se puede apreciar que para la distancia " a=90 cm " la carrera de trabajo del actuador hidráulico es superior a la distancia CP más corta de la posición inicial de la plataforma con lo cual también se descarta esta posibilidad debido a que sería un caso imposible de plasmar físicamente.

Luego, se puede apreciar que para las dimensiones de a= 60, 70.5 y 80 cm se cumple con la condición de la carrera de trabajo del actuador hidráulico planteada, con lo cual se determina que las tres son aptas para el diseño propuesto. El siguiente punto a tener en cuenta es la fuerza crítica obtenida de las tres soluciones restantes siendo la más óptima la que cuenta con la menor fuerza crítica posible, de esta manera se descarta la distancia "a=80 cm ".

Finalmente se utiliza el software Autodesk Inventor para colocar el cilindro hidráulico en el sistema en donde se comprueba que la distancia óptima de "a" es de 70.5 cm debido que cuenta con una fuerza crítica relativamente baja y una excelente relación de espacio entre la posición más baja de la plataforma y la carrera de trabajo del cilindro hidráulico.

3.3 Determinación de la fuerza del cilindro pistón

Se procede a determinar la fuerza hidráulica máxima requerida para poder seleccionar el cilindro hidráulico adecuado que pueda soportar el peso de la carga previamente definida. Para esta finalidad, se emplea el principio del trabajo virtual. Este método es ideal para el cálculo de la fuerza del cilindro hidráulico debido a que el mecanismo propuesto posee solo un grado de libertad como se puede apreciar en la figura 3.4, en donde se ve que la plataforma será impulsada por el brazo AD el cual será impulsado por el cilindro hidráulico.

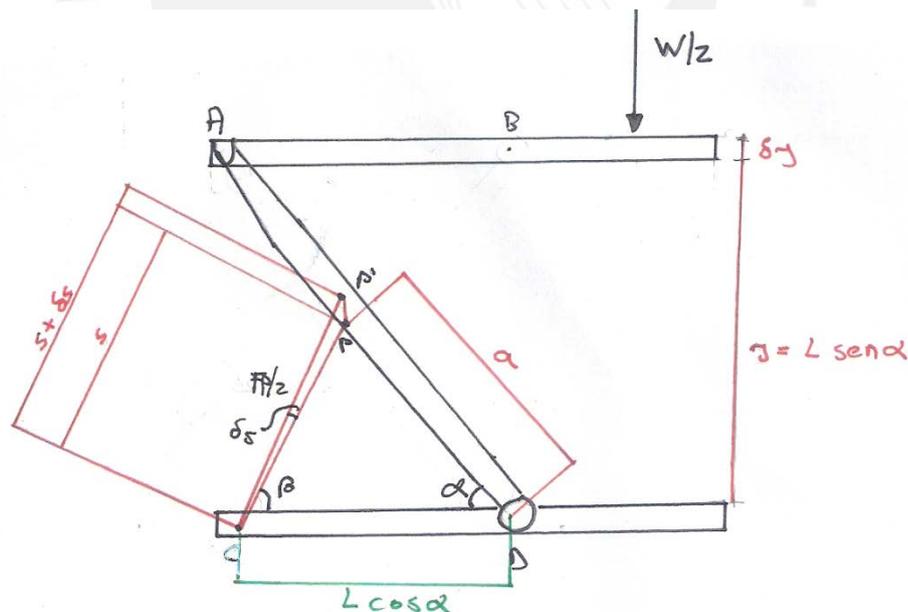


Figura 3.4: Trabajo virtual en la plataforma de elevación

La determinación de la fuerza crítica del cilindro hidráulico es importante debido a que a partir de esta fuerza se realizarán todos los cálculos de resistencia de materiales. Para determinarla se ha decidido calcular las diferentes fuerzas del cilindro hidráulico

según su posición con respecto a la ubicación de la plataforma del sistema de elevación.

Se ha considerado trabajar con solo uno de los tijerales para facilitar el cálculo, por lo que se tomarán los valores medios del peso que soportará la estructura y la fuerza del actuador lineal. Por lo tanto para el sistema planteado en la figura 3.4 se obtiene la siguiente ecuación general correspondiente al principio del trabajo virtual:

$$\delta U = -\frac{W}{2}\delta y + \frac{F_p}{2}\delta s \quad (3.4)$$

Dónde:

- δU : trabajo virtual
- δy : desplazamiento vertical en el eje y
- δs : desplazamiento del cilindro hidráulico en el espacio
- W : peso que soportará la estructura
- F_p : fuerza del cilindro hidráulico
- L longitud del brazo de elevación

Se calcula el desplazamiento de la barra en el eje vertical derivando “y” respecto del ángulo de elevación del brazo “ α ”.

$$y = L \operatorname{sen} \alpha \quad (3.5)$$

$$\delta y = L \operatorname{cos} \alpha \delta \alpha \quad (3.6)$$

Se utiliza la ley de cosenos para obtener la siguiente expresión

$$s^2 = a^2 + (L \operatorname{cos} \alpha)^2 - 2 * L \operatorname{cos} \alpha * a \operatorname{cos} \alpha \quad (3.7)$$

Derivando s respecto del ángulo de elevación del brazo “ α ”, se obtiene la siguiente expresión:

$$\delta s = \frac{\cos\alpha \operatorname{sen}\alpha [4aL - 2L^2]}{2s} \delta\alpha \quad (3.8)$$

Finalmente reemplazando las ecuaciones 3.5 y 3.7 en la ecuación 3. se obtiene la siguiente expresión para determinar la fuerza del pistón:

$$Fp = 2 \frac{W L s}{\operatorname{sen}\alpha [4aL - 2L^2]} \quad (3.9)$$

Asimismo, a partir de la ley de cosenos se deduce una expresión para determinar el ángulo beta, el cual variará según la posición del brazo de elevación:

$$\beta = \arccos \left[\frac{S^2 + (L \cos\alpha)^2 - a^2}{2 * S^2 * (L \cos\alpha)^2} \right] \quad (3.10)$$

Como se mencionó anteriormente se calculan distintas fuerzas para la ubicación del cilindro hidráulico previamente establecido en el acápite 3.2 de la presente tesis según las distintas posiciones que tendrá el brazo de elevación desde la ubicación más baja de la plataforma hacia su punto de elevación máxima. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 3.2. En esta tabla se obtiene la fuerza crítica del cilindro hidráulico considerando que sólo se trabaja con uno en el sistema.

Tabla 3.2: Fuerza del cilindro hidráulico según alfa

Ángulo del brazo de elevación α	Fuerza del cilindro hidráulico(kg)	Altura de elevación(cm)	Ángulo de posición del pistón β
10.5	3065	21.1	16
15	2206	30	22.5
20	1722	39.7	29.4
25	1445	49	35.8
30	1269	58	41.8
35	1151	66.5	47.3
40	1067	74.6	52.4
45	1007	82	57.2
52	947	91.2	62.2

A partir de la tabla 3.2 se concluye que la fuerza máxima del cilindro hidráulico se encuentra en su punto de retracción mínimo es decir para un ángulo $\alpha = 10.5^\circ$, por lo cual se utilizará este valor para determinar el actuador lineal requerido por el sistema de elevación.

Asimismo se muestra una gráfica donde se ve claramente que la fuerza del cilindro - hidráulico es inversamente proporcional al ángulo de giro del brazo de elevación. Esto se aprecia en la figura 3.5.

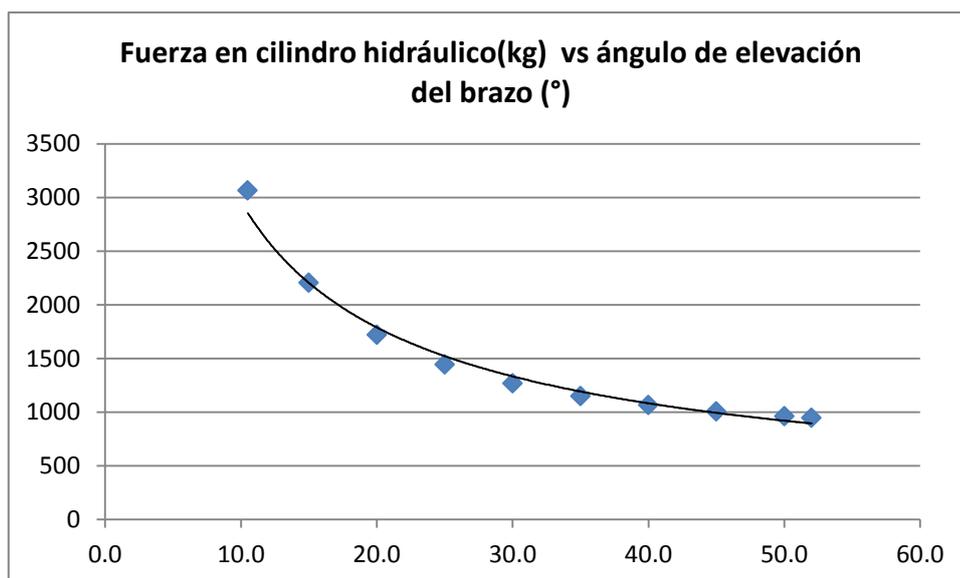


Figura 3.5: Gráfica Fuerza en el cilindro hidráulico vs ángulo del brazo de elevación

3.4 Cálculo de fuerzas en el sistema de elevación

En base a la fuerza crítica del cilindro hidráulico determinada en el acápite 3.3, se procede a calcular las diversas fuerzas involucradas en los cuerpos rígidos del sistema de elevación.

Estas se calculan con la finalidad de poder evaluar los momentos y esfuerzos que se producen en los cuerpos rígidos y así poder determinar el tipo de perfil que se utilizará para cada cuerpo de modo tal que estos cumplan con la finalidad de transportar a dos personas de manera segura y eficaz.

En primer lugar, se realizarán los cálculos estáticos de cada cuerpo involucrado en el sistema. Para realizar estos cálculos se muestran los DCL de los principales cuerpos con los que se cuenta en el sistema. Estos se muestran a continuación en las figuras 3.6 y 3.7 y 3.8.

Barra horizontal AB

Se presenta el DCL de la barra horizontal AB con sus respectivas ecuaciones. Se ve que en esta barra se aplica la mitad del peso total de 300kg el cual estará ubicado a una distancia k variable respecto del pivote A. El cálculo se realizará para tres posiciones de la carga respecto de la articulación fija A. Los resultados se mostrarán más adelante.

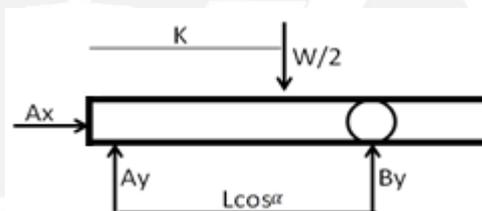


Figura 3.6: DCL del brazo horizontal AB

Las ecuaciones estáticas para la barra horizontal AB son las siguientes:

$$\sum F_x = 0$$

$$Ax = 0 \tag{3.11}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$Ay = \frac{W}{2} - By \tag{3.12}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$By = \frac{\frac{W}{2} \times k}{L \cos \alpha} \tag{3.13}$$

Brazo de elevación CB

Se presenta el DCL del brazo de elevación CB con sus respectivas ecuaciones. Estas se muestran a continuación

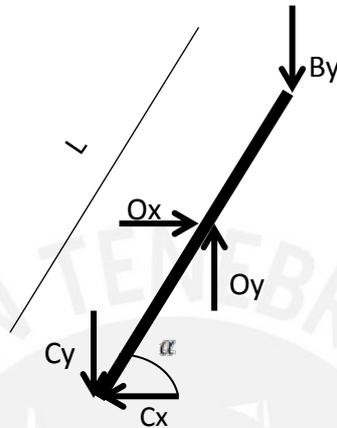


Figura 3.7: DCL del brazo CB

$$\sum F_x = 0$$

$$O_x = C_x \tag{3.14}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$O_y = C_y + B_y \tag{3.15}$$

$$\sum M_C = 0$$

$$O_y = \frac{B_y * L \cos \alpha + O_x * \frac{L}{2} \sin \alpha}{L \cos \alpha} \tag{3.16}$$

Brazo de elevación AD

Se presenta el DCL del brazo de elevación AD con sus respectivas ecuaciones. Estas se muestran a continuación:

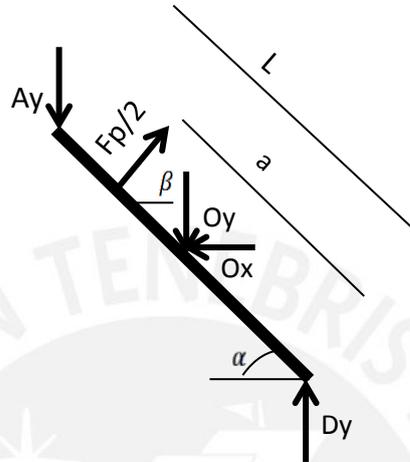


Figura 3.8: DCL del brazo AD

$$\sum F_x = 0$$

$$O_x = \frac{F_p}{2} * \cos\beta \tag{3.17}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$D_y + \frac{F_p}{2} * \sen\beta = O_y + A_y \tag{3.18}$$

$$\sum M_D = 0$$

$$A_y * L \cos \alpha + O_y * \frac{L}{2} \cos \alpha + O_x * \frac{L}{2} \sen \alpha = \frac{F_p x}{2} * a \sen \alpha + \frac{F_p y}{2} * a \cos \alpha \tag{3.19}$$

La ecuación 3.19 se utilizará para verificar que los resultados obtenidos por el principio del trabajo virtual en el acápite 3.2 sean correctos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para todas las ecuaciones planteadas. Esto se muestra en las tablas 3.3, 3.4, y 3.5 donde se pueden apreciar los resultados para tres ubicaciones de la carga $W/2$ respecto de la articulación fija A, es decir, para la distancia $k=20$, $k=58$ y $k=121$ cm de distancia). Además se aprecian

todas las fuerzas del sistema según la posición de la plataforma durante su recorrido vertical de elevación.

Tabla 3.3: Fuerza del sistema de elevación para k=20 cm

Denominación	Símbolo	Unidades	Valor								
			1533	1103	861	722	634	575	534	503	474
Fuerza del cilindro hidráulico	Fp/2	kg	1533	1103	861	722	634	575	534	503	474
Carga	W/2	kg	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Distancia de la carga	k	cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ángulo del brazo de elevación	alfa	grados	10.5	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	52.0
Fpx		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Fpy		kg	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0
By		kg	26.3	26.8	27.5	28.5	29.9	31.6	33.8	36.6	42.0
Ay		kg	123.7	123.2	122.5	121.5	120.1	118.4	116.2	113.4	108.0
Ox		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Cx		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Oy		kg	325.6	326.5	328.0	330.1	332.7	336.1	340.5	346.1	357.0
Cy		kg	299.3	299.8	300.5	301.5	302.9	304.6	306.8	309.6	315.0
Dy		kg	26.3	26.8	27.5	28.5	29.9	31.6	33.8	36.6	42.0

Tabla 3.4: Fuerza del sistema de elevación para k=58cm

Denominación	Símbolo	Unidades	Valor								
			1533	1103	861	722	634	575	534	503	474
Fuerza del cilindro hidráulico	Fp/2	kg	1533	1103	861	722	634	575	534	503	474
Carga	W/2	kg	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Distancia de la carga	k	cm	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Ángulo del brazo de elevación	alfa	grados	10.5	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	52.0
Fpx		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Fpy		kg	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0
By		kg	76.3	77.6	79.8	82.8	86.6	91.6	97.9	106.1	121.8
Ay		kg	73.7	72.4	70.2	67.2	63.4	58.4	52.1	43.9	28.2
Ox		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Cx		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Oy		kg	425.6	428.3	432.6	438.5	446.2	456.1	468.8	485.1	516.6
Cy		kg	349.3	350.6	352.8	355.8	359.6	364.6	370.9	379.1	394.8
Dy		kg	76.3	77.6	79.8	82.8	86.6	91.6	97.9	106.1	121.8

Tabla 3.5: Fuerza del sistema de elevación para k=121 cm

Denominación	Símbolo	Unidades	Valor								
Fuerza del cilindro hidráulico	Fp/2	kg	1533	1103	861	722	634	575	534	503	474
Carga	W/2	kg	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Distancia de la carga	k	cm	121	121	121	121	121	121	121	121	121
Ángulo del brazo de elevación	alfa	grados	10.5	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	52.0
Fpx		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Fpy		kg	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0	423.0
By		kg	159.1	162.0	166.5	172.6	180.7	191.0	204.3	221.3	254.1
Ay		kg	-9.1	-12.0	-16.5	-22.6	-30.7	-41.0	-54.3	-71.3	-104.1
Ox		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Cx		kg	1473.0	1018.8	750.1	585.5	472.8	389.9	325.3	273.0	213.3
Oy		kg	591.3	597.0	606.0	618.3	634.3	655.0	681.5	715.6	781.3
Cy		kg	432.1	435.0	439.5	445.6	453.7	464.0	477.3	494.3	527.1
Dy		kg	159.1	162.0	166.5	172.6	180.7	191.0	204.3	221.3	254.1

A partir de los resultados obtenidos se puede verificar que para los 3 casos, las fuerzas críticas del sistema se obtienen para el punto mínimo de retracción de la plataforma ($\alpha=10.5^\circ$) y para el punto máximo de estiramiento de la misma ($\alpha=52^\circ$) por lo cual se realizarán los cálculos de resistencia de materiales para ambas ubicaciones.

3.5 Selección de perfiles

La selección del tipo de perfil que se utilizará en los brazos de elevación CB y AD se realizará mediante un cálculo de resistencia de materiales de manera que el perfil seleccionado garantice el eficiente funcionamiento del material a utilizar. Para esto, se proyectarán las fuerzas de cada brazo sobre los ejes horizontales y verticales de los mismos respectivamente.

Como se trabajó anteriormente en el acápite 3.4 se realizarán los cálculos en base a 3 ubicaciones de la carga respecto de la articulación fija "A" es decir para la distancia k=20 cm, k=58 cm y k=121 cm y se evaluarán las fuerzas en los puntos más críticos del recorrido de la plataforma de elevación, es decir cuando los brazos de elevación se encuentren posicionados según $\alpha=10.5^\circ$ y $\alpha=52^\circ$ respecto del nivel del suelo En base a estos criterios los resultados obtenidos para las fuerzas descompuestas en sus ejes primas horizontales y verticales se muestran a continuación en las Tablas 3.6 y 3.7.

Tabla 3.6: Fuerzas descompuestas en los ejes primas del brazo de elevación CB

Barra CB								
Denominación	Símbolo	Unidades	Valor					
Ubicación de la carga	k	cm	20		58		121	
Ángulo de elevación del brazo	alfa		10.5	52	10.5	52	10.5	52
By'		kg	25.86	25.86	75.00	75.00	156.47	156.47
Bx'		kg	4.79	33.10	13.90	96.00	29.00	200.27
Oy'		kg	51.72	51.72	150.00	150.00	312.93	312.93
Ox'		kg	1507.65	412.65	1525.86	538.43	1556.06	746.98
Cy'		kg	25.86	25.86	75.00	75.00	156.47	156.47
Cx'		kg	1502.85	379.54	1511.96	442.44	1527.06	546.71

Tabla 3.7: Fuerzas descompuestas en los ejes primas del brazo de elevación AD

Barra AD								
Denominación	Símbolo	unidades	Valor					
Distancia de la carga	k	cm	20		58		121	
Ángulo del brazo de elevación	alfa		10.5	52	10.5	52	10.5	52
Ax'		kg	22.54	85.10	13.43	22.21	-1.66	-82.07
Ay'		kg	121.63	66.49	72.49	17.35	-8.98	-64.12
Dx'		kg	4.79	33.10	13.90	96.00	29.00	200.27
Dy'		kg	25.86	25.86	75.00	75.00	156.47	156.47
Ox'		kg	1388.97	-150.02	1370.76	-275.80	1340.56	-484.35
Oy'		kg	588.58	387.88	686.86	486.15	849.79	649.08
Fx'		kg	1371.23	-202.01	1371.23	-202.01	1371.23	-202.01
Fy'		kg	684.35	428.50	684.35	428.50	684.35	428.5

En base a los resultados obtenidos en las tablas 3.6 y 3.7 se puede ver que las fuerzas más críticas se producen cuando se coloca el peso total que soportará el sistema de elevación en la parte más alejada de las articulaciones fijas es decir a 121 cm de distancia de éstas, por lo tanto los cálculos de resistencia del material para determinar qué tipo de perfil se utilizará en cada brazo de elevación así como los diagramas de fuerza cortante y momento flector se desarrollarán en base a esta ubicación crítica de la carga. El análisis para las otras posiciones se presenta en el Anexo "B" de la presente tesis.

Se procede a calcular los momentos flectores que se producen en ambos brazos de elevación.

Brazo de elevación CB

En base a los resultados obtenidos, se puede apreciar que en el brazo de elevación CB la fuerza crítica siempre se encuentra en la parte media del mismo es decir en el pivote "O".

Además se puede ver que tanto para la posición inicial del brazo ($\alpha = 10.5$) como para la posición final ($\alpha = 52$) del brazo las fuerzas verticales son las mismas, Por lo tanto el momento flector del brazo de elevación CB se calcula mediante la expresión 3.20 para una carga centrada y concentrada en una viga.

$$M_f = \frac{F \cdot L}{4} \tag{3.20}$$

A continuación se muestran en la figuras 3.9, los diagramas de fuerza cortante y momento flector obtenidos para el brazo de elevación CB.

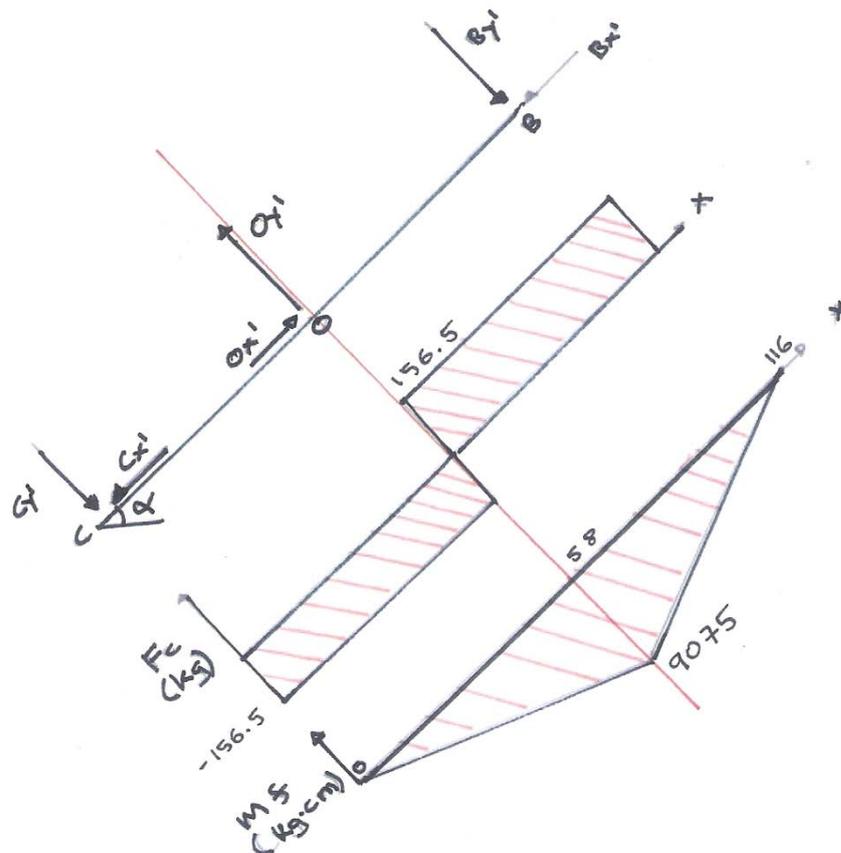


Figura 3.9: DCL de fuerzas cortantes y momento flector del brazo de elevación CB

Brazo de elevación AD

Con respecto al brazo de elevación AD, después de haber evaluado los momentos que se producen para cada uno de los casos, se concluye que el momento flector más crítico se produce para un posición del brazo de $\alpha=52^\circ$ y una ubicación de la carga para $k=121$ cm. Esto se calculó mediante el método de las secciones teniéndose las siguientes ecuaciones:

Ubicación de la carga (K=121) / Inclinación del brazo de elevación ($\alpha=52^\circ$)

Tramo ($0 < x < 45.5$)

$$M = 64.12x \quad (3.21)$$

Tramo ($45.5 < x < 58$)

$$M = 64.12x + 428.5(x - 45.5) \quad (3.22)$$

Tramo ($58 < x < 116$)

$$M = 64.12x + 428.5(x - 45.5) - 649.08(x - 58) \quad (3.23)$$

A continuación se muestra en las figura 3.10, los diagramas de fuerza cortante y momento flector obtenidos para este caso:

Brazo de elevación AD

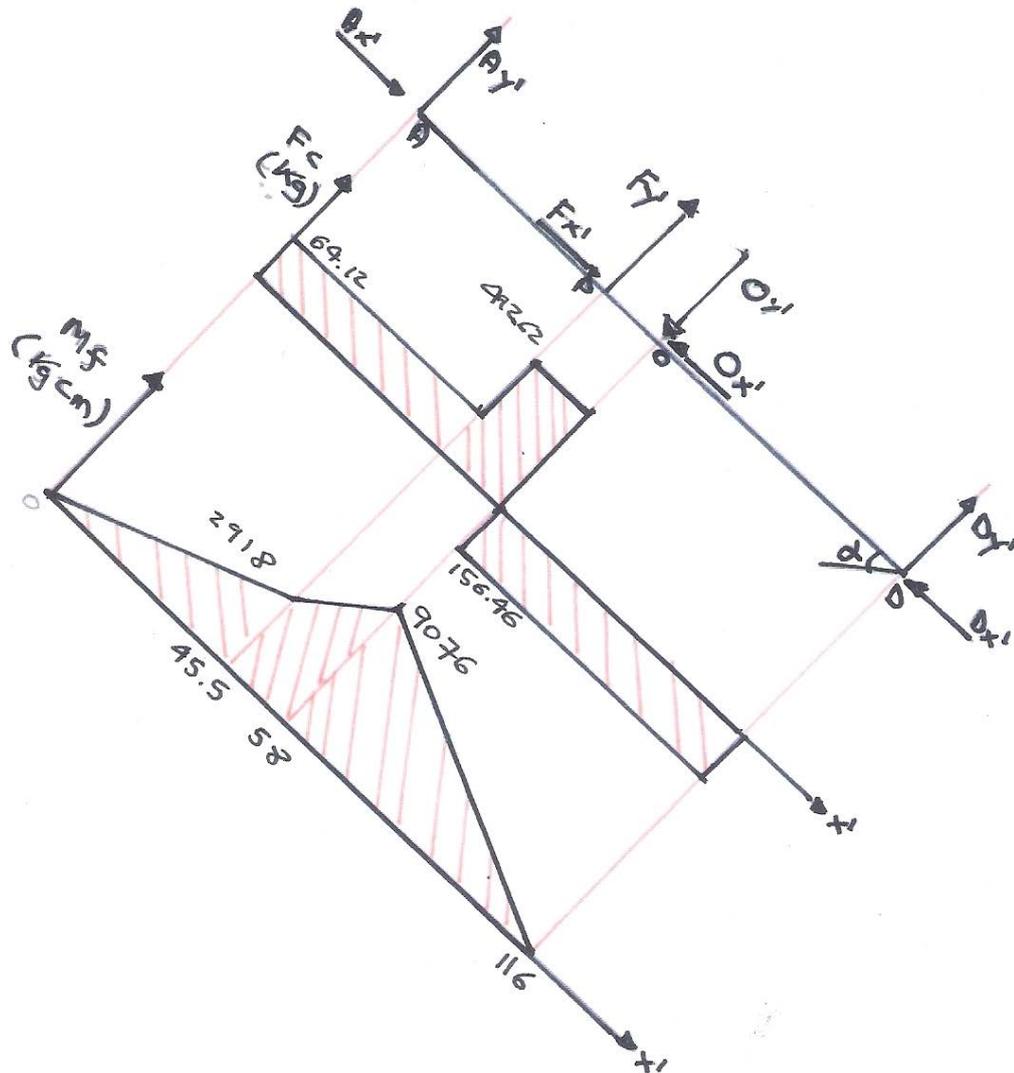


Figura 3.10: DCL de fuerzas cortantes y momento flector del brazo de elevación AD

Se asume utilizar como perfil para ambos brazos de elevación una platina de acero estructural de sección transversal rectangular el cual se puede encontrar disponible en el mercado nacional en la empresa TRADI S.A. Este cuenta con las siguientes propiedades que se muestran en las tablas 3.8 y 3.9

Tabla 3.8: Propiedades mecánicas de la platina, obtenidas de TRADI S.A.

NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE
	kg/mm ²	kg/mm ²	%	
ASTM A-36	25.3 min	41min	12.5 min	JIS G-3101 SS400

Tabla 3.9: Dimensiones estándar de la platina, obtenidas de TRADI S.A.

DIMENSIONES (pulg.)	PESO ESTIMADO	
	kg/m	kg / 6m
1/2 x 1	2.43	14.56
1/2 x 1 1/2	3.56	21.36
1/2 x 2	4.78	28.68
1/2 x 2 1/2	5.89	35.34
1/2 x 3	7.28	43.7
1/2 x 4	9.56	57.36

A partir de las dimensiones disponibles en el mercado nacional, se determina el área y la inercia de cada uno de los perfiles existentes. Para esto se utilizan las expresiones 3.23 y 3.24 así como la imagen de la sección de la platina que se muestra en la figura 3.11

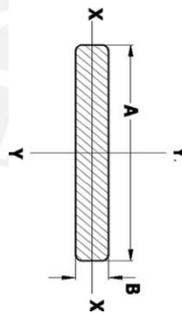


Figura 3.11: Sección de una platina

$$A = bxa \tag{3.24}$$

$$I = \frac{(b \times a^3)}{12} \tag{3.25}$$

Se obtienen los siguientes resultados para los perfiles disponibles en la empresa TRADI S.A. mostrados a continuación en la Tabla 3.10

Tabla 3.10: Resultados de resistencia del material de las platinas disponibles

Denominación	Platina						
	Símbolo	Unidades	1/2 x 1"	1/2 x 1y 1/2"	1/2" x 2"	1/2" x 2 y 1/2"	1/2" x 3"
Ancho	b	cm	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Altura	a	cm	2.54	3.81	5.08	6.35	7.62
Área	A	cm ²	3.23	4.84	6.45	8.06	9.68
Inercia	I	cm ⁴	1.73	5.85	13.87	27.10	46.83
Momento de inercia	I/c	cm ³	1.37	3.07	5.46	8.53	12.29

Luego de obtener los datos de cada una de las posibilidades disponibles se procede a seleccionar la opción óptima para los brazos del sistema de elevación que cumplan con los requisitos de resistencia del material utilizado, para esto se utiliza expresión 3.25 del momento de inercia en una viga.

$$S = \frac{I}{c} = \frac{M_f}{\sigma} \tag{3.26}$$

Dónde:

- I: Momento de Inercia
- M_f: Momento flector
- σ: Esfuerzo normal admisible debido a la flexión
- c: distancia vertical de la arista al centroide

Sabiendo que el esfuerzo límite de fluencia en los aceros ASTM A-36 es de 2530 kg/cm² y considerando un factor de seguridad (FS=3) se obtienen los siguientes resultados los cuales se aprecian en la Tabla 3.11

Tabla 3.11: Resultados de resistencia del material para los brazos de elevación

Denominación	Símbolo	unidades		
Brazo de elevación			Brazo CB	Brazo AD
Momento flector critico	M_f	kg*cm	9075	9076
Esfuerzo límite de fluencia	σ_f	kg/cm ²	2530	2530
Factor de seguridad	FS		3	3
Esfuerzo límite de fluencia con FS	σ_{adm}	kg/cm ²	843	843
Momento de Inercia	I/c	cm ³	10.76	10.76

A partir de los resultados obtenidos se selecciona del catálogo de TRADI S.A. la platina ½" x 3" de sección transversal rectangular debido a que ésta cumple con el requisito de flexión calculado previamente, es decir cuenta con una inercia superior a la obtenida para cada brazo de elevación. Se debe tener en cuenta que el esfuerzo producido por la fuerza cortante se desprecia al tener un valor mínimo con respecto al esfuerzo normal de flexión.

Cabe resaltar, que se analizó la posibilidad de que los brazos de elevación fallen por pandeo, sin embargo se concluye que estos fallarán por flexión antes que por pandeo en todos los casos.

3.6 Diseño de la plataforma, estructura base y soporte de plataforma

La estructura base del sistema de elevación estará compuesta por cuatro ángulos estructurales de sección transversal formada por dos alas de igual longitud en ángulo recto. Se selecciona un ángulo estructural de acero ASTM A-36 de 2" ½ x 2"1/2 x 3/16" del catálogo de la empresa TRADI S.A. Una vista isométrica de la estructura de la base se muestra a continuación en la figura 3.12.

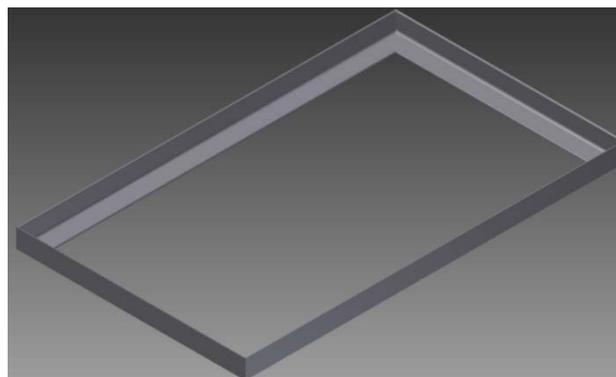


Figura 3.12: Estructura de la base

Respecto a la parte superior del elevador, éste estará compuesto por una plataforma y una estructura que soportara dicho elemento. Al igual que para la estructura de la base, se utilizan cuatro ángulos estructurales pero en forma invertida para la construcción de la estructura que soportará la plataforma. Esta estructura tendrá adicionalmente una platina en el medio para un mejor soporte de la plataforma de elevación. Ésta se muestra en la figura 3.13

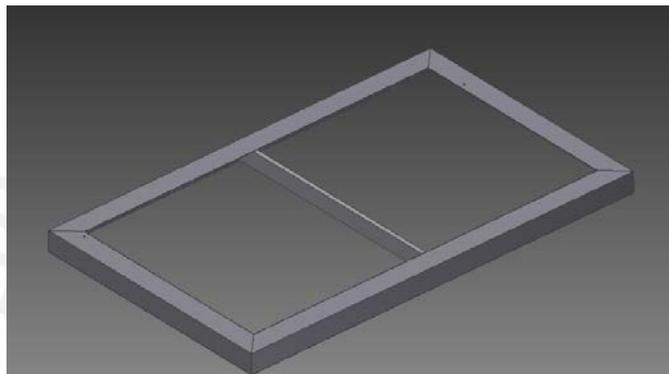


Figura 3.13: Estructura de la plataforma

Respecto a la plataforma que se colocará sobre la estructura anterior, se ha determinado utilizar una plancha estriada de 126 x 76 cm de acero ASTM-A36 de 3/16" de espesor como se muestra en la figura 3.14. Se seleccionó este tipo de plancha con la finalidad de que los usuarios obtengan una mayor seguridad al momento de abordar el elevador.



Figura: 3.14 Plancha estriada

Se realiza un análisis para verificar que esta plancha no se deforme al momento de recibir la carga máxima de diseño. Para esto, se utiliza las fórmulas de esfuerzos en placas planas. En este caso, se asume que la plancha estará apoyada en los bordes y

que la carga es uniforme sobre toda la superficie. Por lo tanto, se tiene la expresión 3.27 correspondiente al esfuerzo máximo que se producirá en la placa.

$$\sigma_{max} = \beta \times \frac{qb^2}{t^2} \quad (3.27)$$

donde:

- b (cm): largo de la plancha
- t (cm): espesor de la plancha
- q ($\frac{kg}{cm^2}$): Carga de la plancha por unidad de área
- β : coeficiente en función del ancho(a) y largo(b) de la plancha

El coeficiente β se obtiene de la tabla 3.12 mostrada a continuación:

Tabla 3.12: Coeficiente β para verificar el límite de deformación de plancha

a/b	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	3.0	4.0	5.0	∞
β	0.2874	0.3762	0.4530	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500

Reemplazando los valores en la expresión 3.27 se obtiene que el esfuerzo máximo que soportará la plancha será de 460 kg/cm^2 con lo cual se verifica que ésta no se deformará debido que el límite de fluencia del material seleccionado considerando un factor de seguridad de $FS=3$ es de 840 kg/cm^2 .

3.7 Cálculo de pasadores

El diseño de los pasadores a utilizar se realizará teniendo en cuenta lo siguiente:

Respecto a los pasadores que se utilizarán para fijar el cilindro hidráulico a las articulaciones de la base, se tomará en cuenta la fuerza crítica del pistón que se ejerce sobre el pasador.

Respecto a los pasadores que se utilizarán para fijar los brazos de elevación a las articulaciones, para fijar las articulaciones móviles a los brazos de elevación y para fijar los brazos de elevación entre sí, se tomará en cuenta la fuerza más crítica

aplicada al pasador de estos tres. En este caso la fuerza más crítica estará aplicada en el pasador que pasa por el pivote "O", el cual se aprecia en la figura 3.3 mostrada anteriormente, por lo cual se trabajará en base a esta carga.

La figura 3.15 muestra cómo están aplicadas las cargas en el pasador a dimensionar.

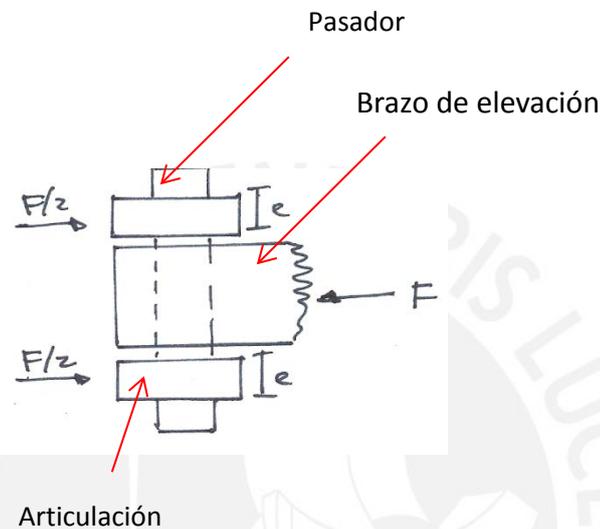


Figura 3.15: Fuerzas aplicadas en el pasador

A partir de la fuerza más crítica, se determina el esfuerzo debido a la fuerza cortante que se produce en el pasador y lo comparamos con el esfuerzo máximo admisible de tal modo que se seleccionará un diámetro de pasador que cumpla con estas condiciones. Para este caso se utilizará como material para el diseño del pasador el acero SAE 1022 el cual cuenta un esfuerzo límite a la fluencia de 4100 kg/cm². Se asume un factor de seguridad (FS=3) y se calcula el esfuerzo debido a la fuerza cortante mediante la expresión 3.28.

$$\tau_c = \frac{V}{A} \leq \tau_{adm} \quad (3.28)$$

Reemplazando valores en la ecuación finalmente se obtiene lo mostrado en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13: Resultados del cálculo de pasadores

Denominación	Símbolo	Unidades	Pasador de Cilindro hidráulico	Pasador de brazos de elevación
Fuerza crítica	F_c	kg	1533	1587
Esfuerzo límite de fluencia	σ_f	kg/cm ²	4100	4100
Factor de seguridad	FS		3	3
Esfuerzo límite de fluencia admisible	σ_{fadm}	kg/cm ²	1367	1367
Diámetro mínimo requerido	d	cm	0.845	0.860
Diámetro mínimo requerido	d	mm	8.45	8.6
Diámetro de pasador seleccionado	d	mm	25	15

Por lo tanto, se determina que el diámetro del pasador para las articulaciones fijas y móviles de los brazos de elevación deberá ser mayor o igual a 11.95 mm por lo que se estima que los pasadores deberán ser de un valor normalizado de 15 mm de diámetro.

Con respecto al pasador que deberá soportar al cilindro hidráulico se realiza el mismo cálculo pero considerando la fuerza máxima del cilindro es decir para una fuerza de 1533 kg. Para este caso se selecciona un pasador con diámetro normalizado de 25 mm debido a que el cilindro seleccionado cuenta con una oreja soporte de dicha dimensión. Estos detalles se mostrarán más adelante en el acápite 3.10

El tipo de pasador seleccionado para unir las articulaciones fijas de la base con los cilindros hidráulicos así como con los brazos de elevación se muestra en la figura 3.16.

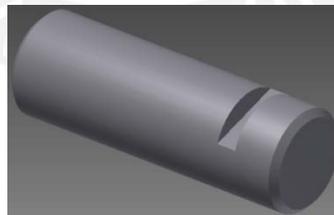


Figura 3.16: Pasador que se utiliza en las articulaciones fijas

Respecto al tipo de pasador que se utiliza para unir las ruedas con los brazos de elevación se muestra la figura 3.17 y



Figura 3.17: Pasador que se utiliza entre las ruedas y brazos de elevación

Respecto al tipo de pasador que se utiliza para unir los brazos de elevación entre sí se muestra en la figura 3.18.



Figura 3.18: Pasador que se utiliza en la parte media de los brazos de elevación

3.8 Diseño del vástago

Se utilizará una barra circular de acero para unir los brazos de elevación del sistema. Esto se aprecia en la figura 3.19, en donde se aprecia que la barra circular estará soldada a los brazos de elevación longitudinalmente.



Figura 3.19: Barra circular que une los brazos de elevación

El diseño del vástago a utilizar se realizará tomando en cuenta que se utilizarán dos cilindros hidráulicos en el sistema de elevación. Las fuerzas involucradas en el vástago

a diseñar así como el momento flector máximo que se producen en el mismo se pueden apreciar en la figura 3.20 mostrada a continuación:

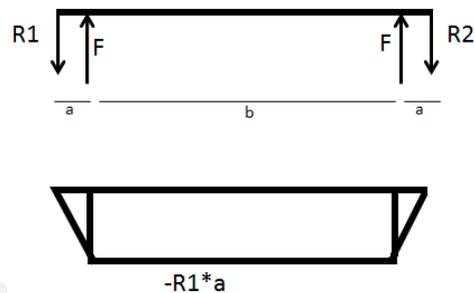


Figura 3.20: Fuerzas y momento flector del vástago a diseñar

Se emplea el método de las secciones para calcular esfuerzo normal crítico debido a la flexión que se produce en el vástago. Se obtienen las siguientes ecuaciones:

Tramo ($0 < x < a$)

$$M = -R1x \quad (3.29)$$

Tramo ($a < x < a+b$)

$$M = -R1x + F(x - a) \quad (3.30)$$

Tramo ($a+b < x < 2a+b$)

$$M = -R1x + F(2x - 2a - b) \quad (3.31)$$

Finalmente, a partir de la figura 3.20 se obtiene que el momento flector crítico está expresado por la expresión 3.32 mostrada a continuación

$$M_f = R1 \times a \quad (3.32)$$

El esfuerzo normal debido a la flexión en una barra circular está determinado por la siguiente expresión

$$\sigma = \frac{32D \times M_f}{\pi D^4} \quad (3.33)$$

Se utiliza el criterio de Von Misses para determinar las dimensiones del vástago a colocar entre los perfiles por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{adm} \quad (3.34)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3.34 se obtiene la expresión 3.35 que se utiliza para encontrar el diámetro del vástago mínimo requerido para el sistema de elevación

$$\frac{1}{D^3} \leq 0.01574 \quad (3.35)$$

Se emplea el catálogo de la empresa Aceros Bohler para determinar el acero ideal para el vástago del sistema de elevación. A partir de esto, se selecciona una barra circular de acero bonificado templado y revenido AISI 4340, el cual cuenta con un límite de fluencia de 8850 kg/cm². Se utiliza un factor de seguridad FS=3 y se itera en base a diferentes diámetros de las barras circulares disponibles en el mercado nacional, por lo que se selecciona una barra circular de 40mm.

3.9 Dimensionamiento de las articulaciones fijas del cilindro hidráulico y los brazos de elevación

El dimensionamiento de las articulaciones fijas tanto para los brazos de elevación como para los cilindros hidráulicos se realiza en base a la fuerza que recibirá el pasador previamente dimensionado en el acápite 3.6 de la presente tesis y el área que ocupará la articulación respecto del pasador. El área de las articulaciones fijas proyectadas sobre el pasador se puede apreciar en la figura 3.21 que se muestra a continuación siendo “e” el espesor de cada articulación proyectada.



Área proyectada de la articulación fija sobre el pasador

Figura 3.21: Espesor de las articulaciones fijas proyectado en el pasador

Se determinan el espesor mínimo necesario que deberán tener las articulaciones fijas mediante la expresión 3.37

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{adm} \quad (3.36)$$

Donde:

$$A = 2eD$$

Luego de obtener el espesor mínimo necesario, se puede determinar el ancho mínimo que deberán tener las articulaciones fijas. Esto se realiza mediante la expresión 3.37

$$h = \frac{F}{\sigma_{adm} \times e} \quad (3.37)$$

Finalmente, reemplazando los calculados anteriormente se obtienen los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 3.14

Tabla 3.14: Resultados del cálculo para el dimensionamiento de las articulaciones fijas

Denominación	Símbolo	Unidades	Articulaciones Fijas	
			Articulación del cilindro hidráulico	Articulación del brazo de elevación
Fuerza Crítica	F_c	kg	1533	1535
Diámetro del pasador	D	cm	2.5	1.58
Límite de fluencia del material	σ_f	kg/cm ²	2530	2530
Factor de seguridad	FS		3	3
Esfuerzo admisible	σ_{adm}	kg/cm ²	843	843
Espesor de la articulación	e	mm	3.636	5.760
Espesor de la articulación seleccionado	e	mm	12.7	9.525

A partir de los resultados obtenidos se estima que el ancho mínimo de la articulación fija tendrá un valor similar al del espesor mínimo de la misma. El tipo de articulación fija empleado tanto para el cilindro hidráulico como para los brazos de elevación se muestra en la figura 3.22.

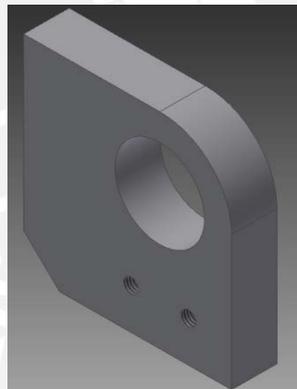


Figura 3.22: Articulación fija

3.10 Cálculo de las uniones soldadas críticas del sistema de elevación

El cálculo de las uniones soldadas en elementos estructurales se realiza mediante el método según el Euro código 3 para uniones angulares. Para esto, el método recomienda calcular primero los esfuerzos producidos en el plano del cateto del cordón angular como se aprecia en la figura 3.23.

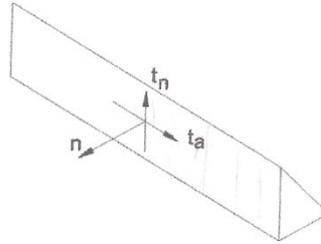


Figura 3.23: Esfuerzos producidos en el plano del cordón angular

Luego se calculan los esfuerzos nominales de la sección que pasa por la garganta del cordón. Finalmente se utiliza la expresión 3.38 del esfuerzo equivalente según el Euro código 3 para determinar el espesor del cordón angular.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_n^2 + 3(\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leq \frac{\sigma_B}{\beta_w \cdot \gamma_{MW}} \quad (3.38)$$

Donde:

- σ_{eq} : Esfuerzo normal equivalente
- σ_n : Esfuerzo normal en la garganta
- τ_n : Esfuerzo paralelo y transversal en la garganta
- τ_a : Esfuerzo paralelo y longitudinal al cordón
- σ_B : Resistencia a la tracción del material base
- β : Factor según material base
- γ_{MW} : Factor de seguridad

Las uniones soldadas críticas del sistema de elevación se presentan en la unión de las articulaciones fijas de los brazos de elevación y los cilindros hidráulicos con la estructura de la base y la estructura de la plataforma, así como en la unión de los brazos de elevación con el vástago.

Con respecto al primer caso, sólo se produce un esfuerzo de corte (τ_a) en el plano paralelo al cateto y longitudinal cordón. El esfuerzo de corte se calcula mediante la expresión 3.39 que corresponde al caso mostrado en la figura 3.24.

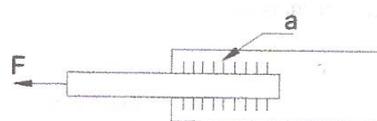


Figura 3.24: Caso típico de unión soldada similar al empleado en las articulaciones fijas

$$t_a = F/A \tag{3.39}$$

Dónde:

$$A = 2 a L$$

Luego se determinan los esfuerzos nominales de la sección que pasa por la garganta del cordón. En este caso, sólo existe un esfuerzo nominal de corte el cual está dado por la expresión 3.40

$$\tau_a = t_a \tag{3.40}$$

Reemplazando los valores en las ecuaciones se obtienen los siguientes resultados que se muestran a continuación en la Tabla 3.15

Tabla 3.15: Resultados del cálculo de uniones soldadas en articulaciones fijas

Denominación	Símbolo	Unidades	Articulaciones Fijas	
			Articulación del cilindro hidráulico	Articulación del brazo de elevación
Fuerza Crítica de corte	F_c	kg	1473	1473
Longitud del cordón	L	cm	5.87	5.87
Resistencia a la tracción	σ_B	kg/cm ²	4100	4100
Factor según material	β		0.85	0.85
Factor de seguridad	γ_{MV}		3	3
Espesor del cordón	a	mm	0.78	0.78
Espesor de cordón seleccionado	a	mm	3	3

Como el espesor de cordón angular obtenido es muy pequeño, se utiliza la recomendación del euro código 3 para el dimensionamiento de cordón angular de la articulación fija. Por lo tanto se decide utilizar un cordón de 3mm de espesor.

Respecto al tipo de unión soldada empleada en este caso, se resalta que las articulaciones fijas se soldarán tanto en su lado horizontal como en su lado vertical como se aprecia en la figura 3.25. Para efectos del cálculo se trabajó cada lado por separado siendo el más crítico el lado horizontal por lo que el espesor de cordón seleccionado se determinó en base a este sector.

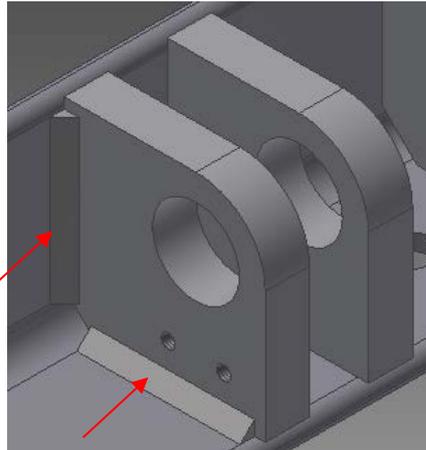


Figura 3.25: Vista de la unión soldada en la articulación fija.

Respecto al caso de la unión soldada entre los brazos de elevación y el vástago, solo se produce un esfuerzo normal al cateto debido a la flexión (n). Éste, se calcula mediante la expresión 3.41 que corresponde al caso mostrado en la figura 3.26

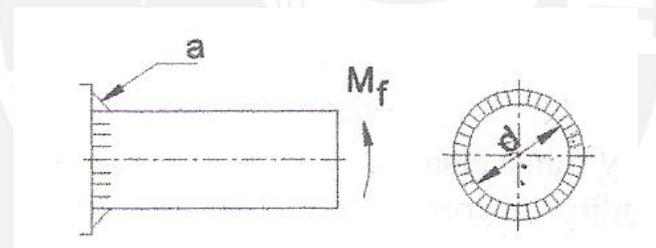


Figura 3.26: Caso típico de unión soldada similar en el vástago circular

$$n_{f(y)} = \frac{M_f \times \frac{d}{2}}{I} \tag{3.41}$$

Dónde:

$$I = \frac{\pi}{64} [(d + 2a)^4 - d^4]$$

Luego se determinan los esfuerzos nominales de la sección que pasa por la garganta del cordón. En este caso, solo existe un esfuerzo normal en la garganta el cual está dado por la expresión 3.42

$$\sigma_n = \frac{n+t_n}{\sqrt{2}} \quad (3.42)$$

Reemplazando los valores en las ecuaciones se obtienen los siguientes resultados que se muestran a continuación en la Tabla 3.16

Tabla 3.16: Resultados del cálculo de uniones soldadas en el vástago

Denominación	Símbolo	Unidades	Vástago
Fuerza Crítica del cilindro hidráulico	F _c	kg	1533
distancia ubicación cilindro	l	cm	12
Momento flector	M _f	cm	18396
Resistencia a la tracción del acero 4340	σ _B	kg/cm ²	10800
Factor según material	β	-	2.00
factor de seguridad	Y _{MV}	-	3
Esfuerzo admisible	σ _{adm}	kg/cm ²	1800
Diámetro de la barra	d	cm	4
Espesor del cordón	a	mm	4.22
Espesor de cordón seleccionado	a	mm	5.00

Se ve que el espesor de cordón requerido es de 4.2 cm por lo que se selecciona un cordón circular de 5mm de espesor. Respecto al resto de uniones soldadas empleadas en el sistema, se utilizará un cordón espesor de 3mm siguiendo la recomendación del euro código. Éstas no se calculan debido a que no se produce un esfuerzo crítico en las mismas.

3.11 Diseño y selección del cilindro hidráulico a utilizar

Previamente en el acápite 3.3, se calculó la fuerza máxima a la cual deberá trabajar el cilindro hidráulico, la posición inicial y final del mismo así como la carrera de trabajo

que deberá tener. A partir de estos datos se calcula el diámetro de émbolo y vástago del cilindro hidráulico requerido

En primer lugar, se determina el diámetro mínimo que deberá tener el émbolo del cilindro hidráulico, éste se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_p = P \times A \quad (3.41)$$

Despejando se obtiene:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \times F_p}{\pi \times P}}$$

Reemplazando la fuerza crítica del cilindro hidráulico y utilizando una presión de trabajo 100 bares se obtiene lo siguiente:

$$D_{min} \geq 1.7'' \approx 44 \text{ mm}$$

Asimismo se calcula el diámetro mínimo que deberá tener el vástago del cilindro hidráulico. Para esto se utiliza la expresión 3.42 del pandeo. Por lo tanto se tiene:

$$F_p = \frac{\pi^2 EI}{L_p^2 \times F.S.} \quad (3.42)$$

Dónde:

- L_p : carrera de trabajo del cilindro hidráulico
- E : módulo de elasticidad del acero = $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- F_p : Fuerza de pandeo
- I : Inercia
- $F.S.$: Factor de seguridad

Despejando se obtiene el diámetro mínimo requerido para el vástago:

$$d_{min} \geq 0.4'' \approx 10 \text{ mm}$$

Finalmente se obtienen los siguientes valores mostrados en la tabla 3.16

Tabla 3.17: Requerimientos mínimos para selección de cilindro hidráulico

Denominación	Símbolo	unidades	valor
Fuerza crítica del pistón	F_p	KN	16
Posición inicial del cilindro	PI	mm	465
Posición final del cilindro	PF	mm	622
Carrera de trabajo	C	mm	158
Diámetro mínimo del émbolo	D	mm	44
Diámetro mínimo del vástago	d	mm	10

En base a estos resultados se seleccionan dos cilindros hidráulicos de simple efecto con base soporte de la división Rexroth de la empresa Bosch debido a que son de menor costo que los de doble efecto, y porque el ascenso del vástago será a tracción y el retorno del mismo será por la fuerza de gravedad. Estos se muestran en la figura 3.27.

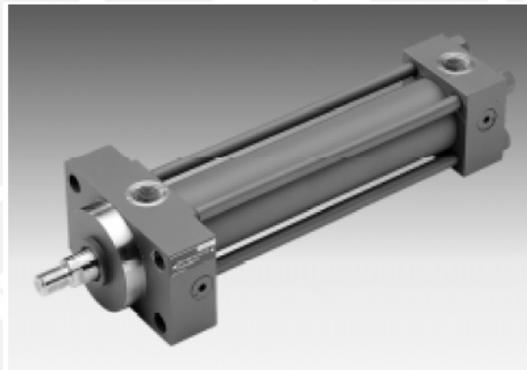


Figura 3.27: Cilindro hidráulico marca Rexroth

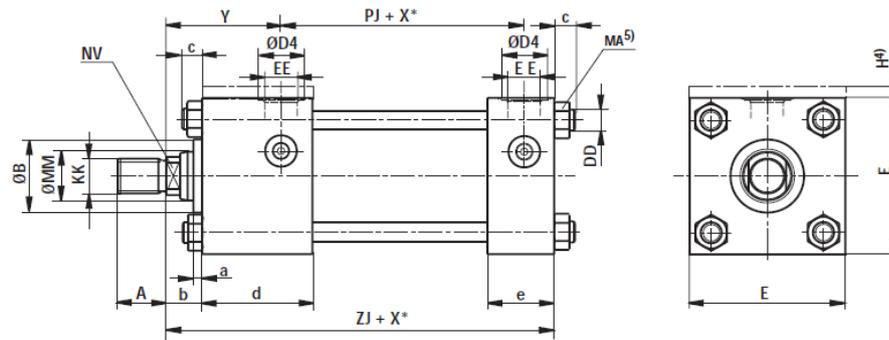
Se eligió este tipo de cilindro hidráulico debido a que cuenta con un vástago con cabeza roscada en la parte superior, lo cual permite colocar y desenroscar una horquilla superior que se colocará en el vástago que une los brazos de elevación. Al utilizar esta horquilla se facilita el mantenimiento del cilindro. El cilindro hidráulico requerido corresponde a la siguiente serie:

CDT3MP5/50/36/165/Z1X/B1CHUMWW

Las características principales del cilindro hidráulico seleccionado son las siguientes:

- Diámetro del émbolo: 50 mm
- Diámetro del vástago: 36 mm
- Carrera del cilindro hidráulico 165 mm
- Fuerza máxima que resiste el cilindro a 100 bar: 2000 kg

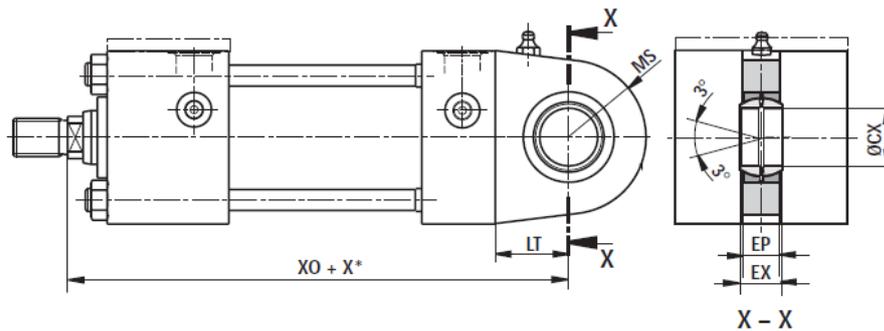
Las vistas laterales de este tipo de cilindro hidráulico así como sus respectivas dimensiones se muestran en las figuras 3.28 y 3.29.



AL Ø	MM Ø	KK ^{1), 2)}	A ^{1), 2)} h15	KF ⁷⁾	A ⁷⁾ h15	a	B Ø max.	b ±2	c max.	DD	d	E	EE	D4 Ø 3)	EE	D4 Ø 3)	e	H 4)	MA Nm 5)	NV ±1,25	PJ max.	ZJ max.	Y ±2	ZM
50	22 36 36	M16 x 1,5 ¹⁾ M16 x 1,5 ¹⁾ M27 x 2 ²⁾	22 22 36	M16 x 1,5 M27 x 2	22 36	5	34 50 50	25	17	M 12	63	75	G 1/2	34	M22 x 1,5	29	38	-	65	17 17 28	74	159	67	207,5

Figura 3.28: Vista lateral 1 del cilindro seleccionado

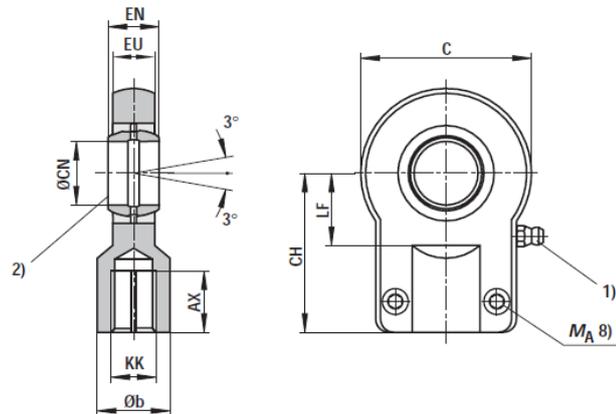
CDT3 MP5



AL	MM	CB	CD ¹⁾	EW	CX	EP	EX	L	LT	MR	MS	UB	XC	XO
∅	∅	A16	∅	h14	∅	h15		min	min	max	max		±1,25	±1,25
50	22 36	30	20	30	25 _{-0,012}	17	20 _{-0,12}	32	31	29	33	60	191	190

Figura 3.29: Vista lateral 2 del cilindro seleccionado

Asimismo, para cada cilindro hidráulico se selecciona su respectiva horquilla del tipo CGKA40 con base roscada la cual se aprecia en la figura 3.30 mostrada a continuación:



AL	MM	KK ³⁾	KK ⁴⁾	Typ	Material-Nr. Order no. Nro. referencia	AX	b	c	CH	CN	EN	EU	LF	MA ⁸⁾	m ⁹⁾		
∅	∅					min.	max.	max.	js13			h13	min.	Nm	kg		
50	22	M16 x 1,5		CGKA 25	327191	23	30	65	68	25	-0,012	20	-0,12	17	30	23	0,73
	36	M16 x 1,5		CGKA 25	327191	23	30	65	68	25	-0,012	20	-0,12	17	30	23	0,73
	36		M27 x 2	CGKA 40	327188	37	45	100	105	40	-0,012	28	-0,12	23	45	46	2,3

Figura 3.30: Cabeza de rotula de Cilindro hidráulico marca Rexroth

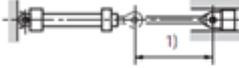
Verificación al pandeo del cilindro hidráulico seleccionado:

El catálogo del cilindro hidráulico seleccionado cuenta con un cuadro donde se muestra la carrera máxima admisible que puede tener el cilindro según la presión y ubicación de trabajo del mismo respecto del nivel del suelo para que este no sufra una falla por pandeo. A partir de la carrera necesaria y seleccionada en el punto anterior verificamos que este no falle por pandeo. Este cuadro se muestra a continuación en la figura 3.31:

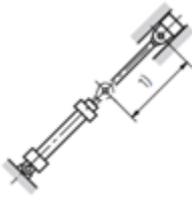
AL Ø	MM Ø	zulässiger Hub bei / Permissible stroke at / carrera adm. a									max. lieferbare Hub max. available stroke carrera máx. disponible
		70 bar			100 bar			160 bar			
		0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°	90°	
50	22 36	205 620	210 650	220 790	155 545	160 565	165 640	100 435	100 445	105 475	1200

Einbaulage / Install. position / Montaje

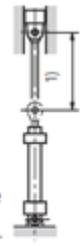
0°



45°



90°



1) zul. Hub
perm. stroke
carrera adm.

Figura 3.31: Carrera máxima admisible del cilindro hidráulico

A partir de la figura 3.31 se comprueba que el cilindro de 50 mm de diámetro y 36 mm de diámetro seleccionado y la carrera seleccionada de 165 mm se encuentra dentro del rango permisible para un trabajo a 100 bares por lo que se concluye que el cilindro hidráulico seleccionado no fallará por pandeo.

3.12 Selección del sistema hidráulico requerido

La determinación de la bomba, el motor eléctrico, y el tanque que se deberá utilizar en el sistema hidráulico requiere de ciertos parámetros. Para determinar esto se conoce lo siguiente:

- Recorrido vertical de la plataforma: 70 cm
- Velocidad aproximada de elevación: 5 cm / segundo
- Presión mínima requerida para el sistema hidráulico: 30 bar

Por lo tanto se determina la velocidad del cilindro hidráulico mediante la siguiente expresión:

$$V_{piston} = \frac{\text{Carrera del pistón}}{\text{tiempo de elevación}} \tag{3.43}$$

Reemplazando valores se obtiene que:

$$V_{pistón} = 1,3 \text{ cm/s}$$

Luego se determina el caudal requerido para la velocidad del pistón de manera que garantice el traslado vertical de la plataforma 70 cm hacia arriba. Para esto se tiene la expresión 3.44:

$$Q = \#_{cilindro\ hidraulico} \times V_{pistón} \times A_{embolo} \quad (3.44)$$

$$Q = 2 \times V_{pistón} \times \frac{\pi}{4} D^2$$

Reemplazando valores se tiene lo siguiente:

$$Q = 40 \frac{cm^3}{s} \approx 0.62 \text{ GPM} \approx 1,4 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

A partir del caudal y de la presión hidráulica mínima requerida se selecciona una bomba de engranajes de 1,6 cm³ / rev modelo PLP 10*1.5 según el catálogo de la empresa Cassapa. Este tipo de bomba se muestra a continuación en la figura 3.32.

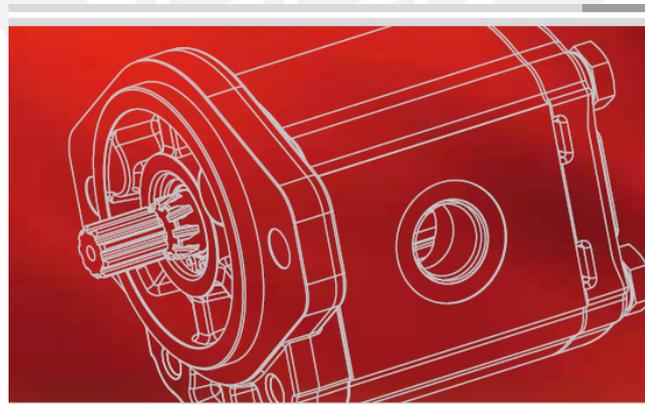


Figura 3 32: Bomba de engranajes marca Cassapa

Asimismo, se muestra la figura 3.33 que corresponde a curva de Potencia vs velocidad de rotación para diferentes presiones de trabajo de la bomba de 1.6 cm³. Asumiendo una presión de trabajo de 100 bares y una velocidad de rotación de 1750 rpm, se

determinó que se requiere utilizar un motor eléctrico asíncrono del tipo jaula de ardilla (MATJA) de 1 hp y 380 v para el sistema hidráulico.

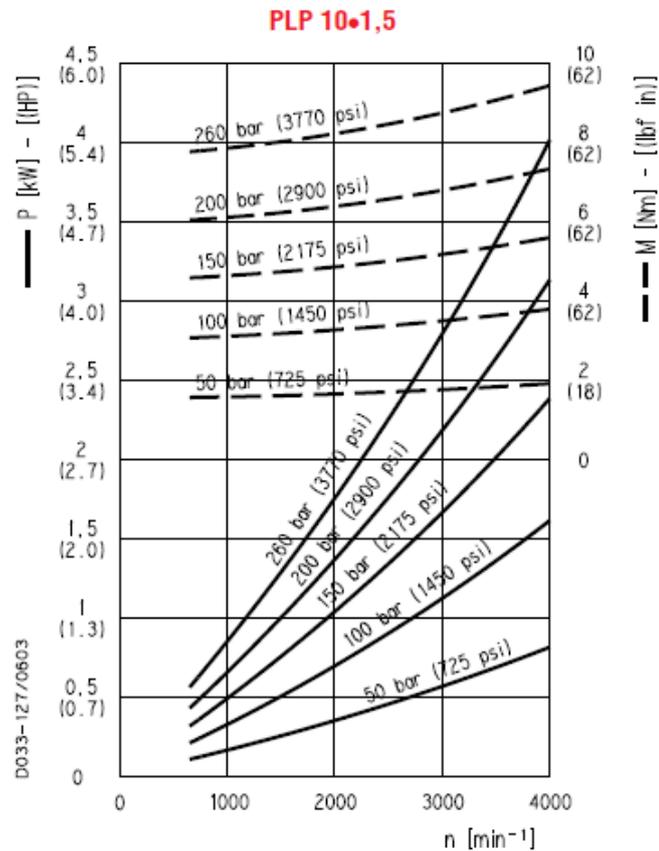


Figura 3.33: Potencia vs velocidad de rotación para bomba PLP 10*1.5

3.13 Selección de pernos de anclaje

Se decide utilizar pernos de anclaje para fijar la estructura de la base del sistema de elevación sobre la fosa de cemento, de modo tal que esta no se deforme y mantenga el sistema de elevación fijado al cemento. Para esto se ha decidido utilizar pernos de acero al carbono “Kwik Bolt III” de la marca Hilti como se muestra a continuación en la figura 3.34.



Figura 3.34: Perno de anclaje Kwik Bolt III

A partir del catálogo de pernos de anclaje de la marca Hilti se determina el diámetro y la longitud del perno requerido así como la cantidad de los mismos para el sistema de elevación. Esto se realiza mediante una evaluación de las fuerzas de corte y tracción que deberán soportar los mismos. Por lo tanto, se tiene la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ pernos} = \frac{F_{\text{resultante del sistema}}}{F_{\text{corte del perno}}} \quad (3.45)$$

La evaluación para determinar el número de pernos de anclaje se realiza en el perfil angular de la estructura de la base que soportará las cargas más altas, es decir donde se ubican las articulaciones fijas de los cilindros hidráulicos. Las fuerzas involucradas se muestran en la figura 3.35

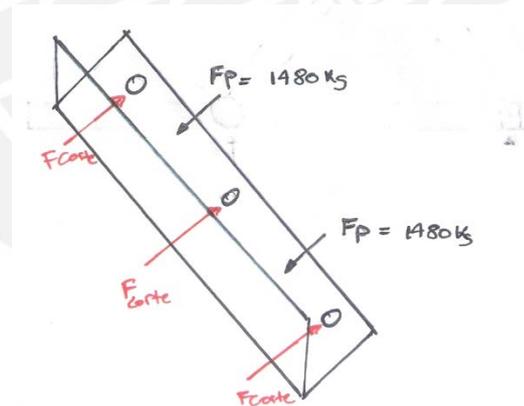


Figura 3.35: Fuerzas para el cálculo de pernos de anclaje

La tabla con las fuerzas de corte y tracción que soporta cada perno de anclaje se muestra a continuación en la tabla 3.17

Tabla 3.18: Perno de anclaje Kwik Bolt III

Descripción	Cant. caja	Diam. broca	Long. anclaje	Prof. mín. coloc.	Long. rosca	Diam. broca Hilti	Prof. Empot. Std.	Cargas permisibles en concreto		Codigo
								4000 psi Traccion (kg)	prof. empotr. std. Corte (kg)	
KB III 1/4-1-3/4	100	1/4"	1-3/4"	1-1/8"	3/4"	TE-C+ 1/4-6	1 1/8"	195	240	00282502 *
KB III 1/4-2-1/4	100	1/4"	2-1/4"	1-1/8"	3/4"	TE-C+ 1/4-6	2"	363	240	00282503
KB III 1/4-3-1/4	100	1/4"	3-1/4"	1-1/8"	3/4"	TE-C+ 1/4-6	2"	363	240	00282504
KB III 3/8-2-1/4	100	3/8"	2-1/4"	1-5/8"	7/8"	TE-C+ 3/8-6	1 5/8"	497	614	00282505
KB III 3/8-3	100	3/8"	3"	1-5/8"	1-1/8"	TE-C+ 3/8-6	2 1/2"	839	662	00282506
KB III 3/8-3-3/4	100	3/8"	3-3/4"	1-5/8"	1-1/8"	TE-C+ 3/8-6	2 1/2"	839	662	00282507
KB III 3/8-5	50	3/8"	5"	1-5/8"	1-1/8"	TE-C+ 3/8-12	2 1/2"	839	662	00282508
KB III 1/2-2-3/4	50	1/2"	2-3/4"	2-1/4"	1-1/4"	TE-C+ 1/2-6	2 1/4"	735	1241	00282509
KB III 1/2-3-3/4	50	1/2"	3-3/4"	2-1/4"	1-1/4"	TE-C+ 1/2-6	3 1/2"	1106	1360	00282510
KB III 1/2-4-1/2	50	1/2"	4-1/2"	2-1/4"	1-1/4"	TE-C+ 1/2-12	3 1/2"	1106	1360	00282511
KB III 1/2-5-1/2	25	1/2"	5-1/2"	2-1/4"	1-1/4"	TE-C+ 1/2-12	2 1/2"	1106	1360	00282512
KB III 5/8-3-3/4	25	5/8"	3-3/4"	2 3/4"	1-1/2"	TE-C+ 5/8-8	2 3/4"	1002	1846	00282513

A partir de la tabla mostrada seleccionamos 3 pernos de anclaje de 1/2" de diámetro y 3 - 3/4" de longitud que corresponden al código 00282510 que garantizan que la estructura del sistema de elevación no falle por corte. A partir de esto, verificamos que estos no fallen por tracción. Para esto se realiza un diagrama de cuerpo libre de la parte lateral del sistema de elevación en donde se verificó que se tienen cargas inferiores a los 1000 kg por lo cual se concluye que los pernos no fallarán por tracción, por lo cual la selección determinada es correcta.

3.14 Selección de ruedas a utilizar

A partir de la geometría de los pasadores seleccionados y los brazos de elevación se seleccionan cuatro ruedas de acero ASTM A-36 con 3" de diámetro exterior y 15 mm de diámetro interior Estas se fabricarán en un proveedor local y se pueden apreciar en la figura 3.36.

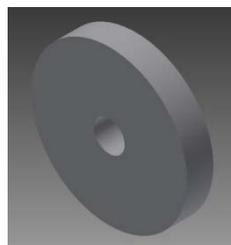


Figura 3.36: Ruedas

3.15 Estructura de la cabina

La estructura de la cabina se construirá en base a barandas de acero inoxidable de 1 ½ pulgadas de diámetro. Estas barandas tendrán soldadas una brida en la parte inferior de modo que se puedan desmontar con facilidad para realizar el mantenimiento respectivo. La distribución de las barandas se puede apreciar en la figura 3.37 la cual es una vista isométrica de la plataforma:

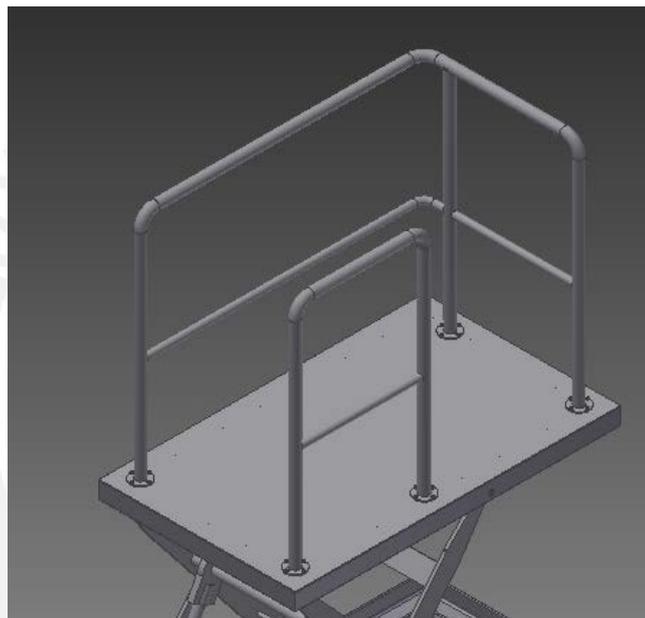


Figura 3.37: Vista superior de la estructura de la plataforma

3.16 Selección de límites de carrera

El sistema de elevación contará con dos límites de carrera dispuestos en la zona de montaje de elevador. Uno para garantizar que la plataforma se detenga cuando alcance su punto máximo de altura, y otro para garantizar que esta se detenga mantenga al nivel del suelo cuando alcance al piso durante el descenso. Los límites de carrera seleccionados de la empresa ABB se muestran a continuación en las figuras 3.38 y 3.39.



Figura 3.38 Límite de carrera con varilla de acero para la posición alta de la plataforma



Figura 3.39: Límite de carrera con rueda para la posición baja de la plataforma

La ubicación de estos dispositivos se muestra en los planos anexos de la presente tesis.

3.17 Esquema propuesto para el sistema hidráulico

A continuación se muestra la figura 3.40 correspondiente al diagrama hidráulico propuesto para sistema de elevación tipo tijeral de la presente tesis:

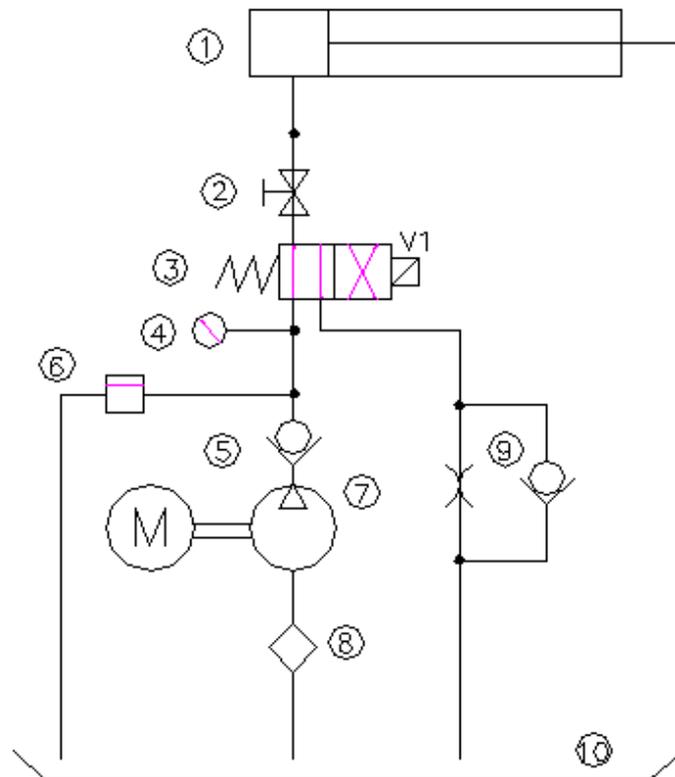


Figura 3.40: Sistema hidráulico propuesto

La secuencia de operación propuesta para el sistema hidráulico del elevador: indica el proceso por el cual se inyecta aceite a presión al cilindro hidráulico para que este a su vez puede impulsar la plataforma de elevación. El proceso se explica a continuación:

Ascenso del elevador:

1. El motor eléctrico acciona la bomba de engranajes (globo 7) que comienza a succionar aceite del tanque (globo 10) que será trasladado hacia el cilindro hidráulico por medio de una válvula distribuidora (globo 3) a una presión de 100 bares y a un caudal de $40 \text{ cm}^3/\text{s}$.
2. Para asegurar que el fluido se encuentre totalmente líquido sin partículas que puedan obstaculizar el sistema se utiliza un filtro de aceite (globo 8).

3. Se utiliza una válvula check (globo 5) para asegurar que el fluido que es trasladado no retorne hacia el tanque de aceite durante la ascensión de la plataforma de elevación
4. Se utiliza un manómetro (globo4) para regular y verificar constantemente que la presión el sistema sea de 100 bares. En caso se produjese un aumento de presión en el sistema, se emplea una válvula relief o de alivio de presión para quitar aceite del cilindro y devolverlo hacia el tanque de aceite de manera tal que el sistema se estabilice a 100 bar nuevamente.
5. Se cuenta con una válvula de apertura y cierra (globo 2) que se utiliza en caso se requiera realizar un mantenimiento al cilindro hidráulico.
6. Finalmente al llegar la plataforma al nivel del simulador de marcha el motor eléctrico se apaga, sin embargo se mantiene el aceite a 100 bares dentro del cilindro hidráulico para mantener su posición.

Descenso del elevador:

1. El usuario pulsa el botón de descenso del mando de elevador el cual acciona el contacto V1 de la válvula distribuidora (globo 3), la cual cambia de posición y re direcciona el sentido del aceite, es decir el cilindro hidráulico empieza a perder líquido el cual es re direccionado hacia el tanque de aceite.

De este modo la plataforma de elevación inicia el proceso de descenso. Para esto se utiliza una válvula de control de flujo (globo 9) la cual se encarga de graduar la cantidad de aceite que retorna la tanque para garantizar que no se exceda cantidad previamente determinada para el descenso del elevador.

3.18 Esquema propuesto para el sistema eléctrico

A continuación se muestra la figura 3.41 correspondiente al diagrama eléctrico propuesto para el sistema de elevación tipo tijeral de la presente tesis:

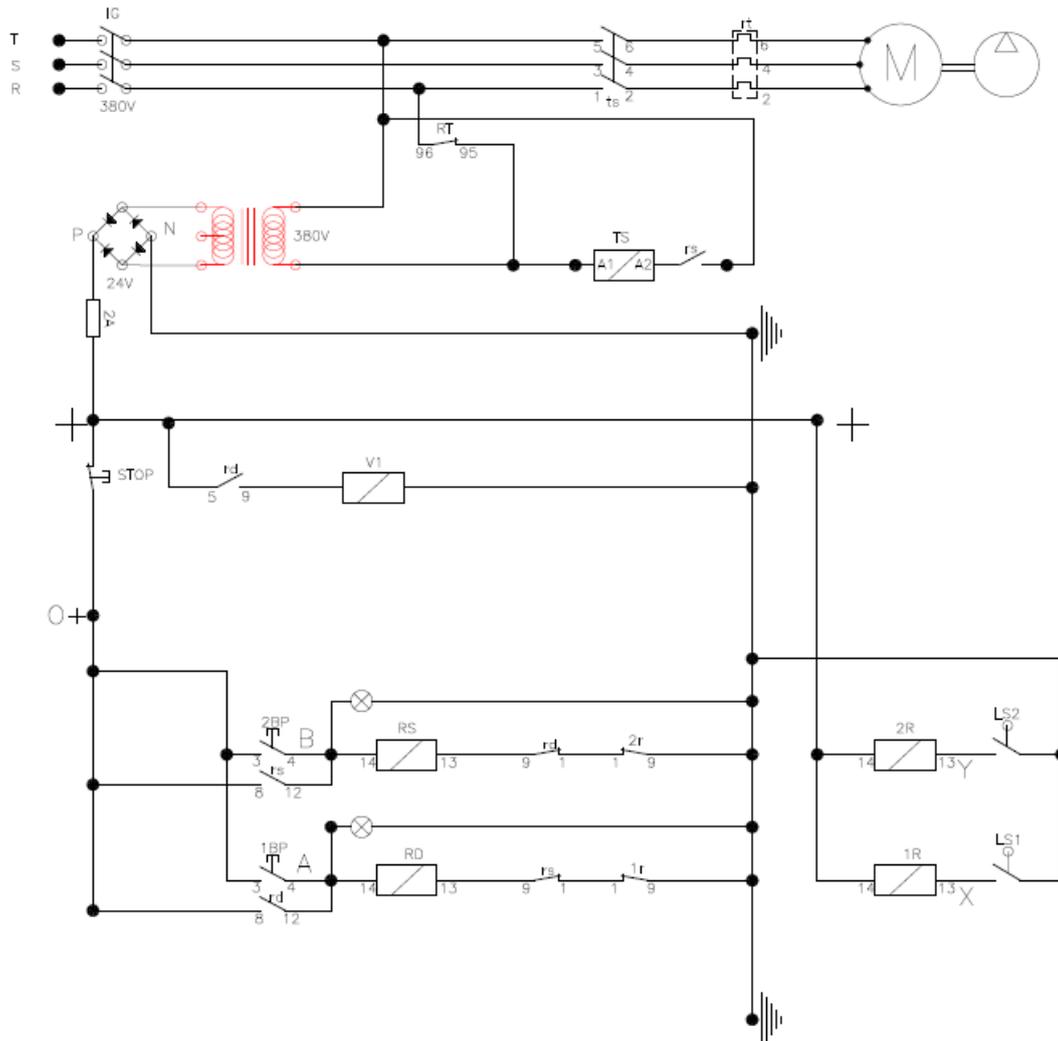


Figura 3.41: Sistema eléctrico propuesto

La secuencia de operación propuesta para el sistema eléctrico del elevador: indica el proceso por el cual el usuario interactúa con los comandos del elevador para hacer ascender, parar o descender la plataforma de elevación. El proceso se explica a continuación:

El sistema eléctrico se conectará a la red nacional mediante la red de alimentación trifásica disponible en el laboratorio de investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada de la Sección de Ingeniería Mecánica. Este alimentará de energía al motor eléctrico que a su vez activará la bomba de engranajes del sistema hidráulico.

Ascenso del elevador:

1. Se cuenta con un botón pulsador para el ascenso del elevador (2BP) el cuál energizará la bobina de elevación (RS), la cual a su vez cerrará el contacto normalmente abierto de ascenso (rs) que permitirá que la plataforma del elevador pueda ascender hacia el simulador de marcha.
2. Se cuenta con un sensor de final de carrera dispuesto en el elevador que activará el contacto (LS2) cuando la plataforma esta a nivel del simulador de marcha. Este contacto energizará la bobina (2R) la cuál abrirá el contacto normalmente cerrado (2r) con lo cual se dejará de transmitir electricidad al motor eléctrico y por lo tanto la plataforma de se detendrá.

Descenso del elevador:

1. Se cuenta con un botón pulsador para el descenso del elevador (1BP) el cuál energizará la bobina de elevación (RD), la cual a su vez cerrará el contacto normalmente abierto de ascenso (rd) que permitirá el paso de corriente y energizará la bobina V1, la cual cambiará la dirección de la válvula distribuidora de aceite explicado en el acápite 3.15 de manera tal que la plataforma del elevador pueda descender hacia el suelo.
2. Se cuenta con un sensor de final de carrera dispuesto en el elevador que activará el contacto (LS1) cuando la plataforma esta a nivel del suelo. Este contacto energizará la bobina (1R) la cuál abrirá el contacto normalmente cerrado (1r) con lo cual se dejará de quitar aceite al cilindro hidráulico y por lo tanto este estabilizará la plataforma al nivel del suelo.

Parada del elevador:

1. Se cuenta con un botón pulsador de parada (STOP) que se podrá utilizar en cualquier momento en caso el usuario desee detener el sistema de elevación.

Al accionar este botón se dejará de transmitir electricidad al sistema y por lo tanto este se detendrá

Mecanismos de protección y seguridad del elevador:

- La electricidad con una tensión de 380 voltios llegará al sistema mediante un interruptor general (IG) el cual es un mecanismo de protección del sistema eléctrico en caso se reciba una súbita subida de tensión en la red nacional.
- El sistema además cuenta con un relé térmico (RT) que es otro mecanismo de protección que se activará en caso el motor eleve su temperatura y procederá a detener el sistema.
- Se cuenta con un transformador y rectificador de tensión que reducirá la tensión del sistema de 380 VAC a 24 VDC, esto como precaución para el usuario del sistema el cual no correrá el riesgo de sufrir algún accidente en caso tenga contacto con algún cable del sistema debido a la tensión mínima utilizada.
- Se resalta que se ha considerado que cuando se pulse el botón pulsador de ascenso para elevar la plataforma, los comandos de descenso estarán bloqueados.

CAPÍTULO 4

PLANOS Y COSTOS

En el presente capítulo, se presentarán los planos y costos del sistema de elevación tipo tijeral propuesto, en éste se dará una breve descripción de todas las piezas y equipos que conforman el sistema de elevación. Esto con la finalidad de que el lector de este documento tenga un amplio panorama de cómo está conformado el sistema y que además pueda tener una idea del costo del mismo.

En primer lugar se mostrarán las consideraciones generales que se han tomado en cuenta para la elaboración de los planos de ensamble y despiece del sistema de elevación propuesto, luego se mostrará una tabla donde se darán a conocer la lista de planos desarrollados en la presente tesis con su codificación respectiva. Estos planos estarán anexados a la tesis.

En segundo lugar, se mostrarán las consideraciones generales tomadas en cuenta para la estimación de los diversos costos del sistema de elevación. Luego se presentarán diversas tablas con los costos respectivos de cada pieza y componentes del sistema de la elevación, del costo de la fabricación de piezas, del costo del montaje de los equipos, y del costo de la ingeniería de diseño del sistema para finalmente estimar la inversión total que se deberá realizar para la implementación del elevador propuesto.

4.1 Consideraciones generales respecto a los planos

- i. Los planos mostrados en el documento adjunto están comprendidos por una vista general de todo el sistema de elevación propuesta, un plano de ensamble general, las piezas que se fabricarán y los diagramas hidráulicos y eléctricos que permitirán poner en marcha el sistema.
- ii. Los planos presentados tienen como objetivo facilitar la construcción y el montaje del sistema de elevación. Estos muestran como deberán estar unidas y ubicadas las diversas piezas, equipos y componentes del sistema.
- iii. Los planos presentados contienen todas las dimensiones de cada pieza, las tolerancias y acabados superficiales de las mismas así como todos los detalles necesarios que facilitan que la fabricación o compra de cada una de las piezas para el sistema de elevación.

4.2 Lista de planos

A continuación, se presenta la Tabla 4.1 donde se presenta la lista de planos del sistema de elevación propuesto.

Tabla 4.1: Lista de planos

N°	Denominación	Código
1	Plano de Ensamble del Sistema de Elevación	Plano EN-01-A0
2	Plano de Posiciones del Elevador	Plano EN-02-A1
3	Plano de Despiece de la Estructura de la Base	Plano DP-03-A1
4	Plano de Despiece de la Estructura de la Plataforma	Plano DP-04-A1
5	Plano de despiece de Brazos de Elevación 1	Plano DP-05-A1
6	Plano de despiece de Brazos de Elevación 2	Plano DP-06-A1
7	Plano de Despiece de Ejes Pasadores	Plano DP-07-A3
8	Plano de Despiece de Rueda	Plano DP-08-A2
9	Plano de Despiece de Plancha Estriada	Plano DP-09-A3
10	Plano de Despiece de Baranda	Plano DP-10-A2
11	Diagrama Hidráulico del Sistema de Elevación	Plano DP-11-A2
12	Diagrama Eléctrico del Sistema de Elevación	Plano DP-12-A2
	EN: Plano de Ensamble, DP: Plano de Despiece	

4.3 Consideraciones generales respecto a los costos

- i. Respecto al costo de diseño del sistema de elevación, éste representa un estimado de los gastos que involucran el tiempo invertido en la investigación de tecnologías actuales relativas al proyecto, el desarrollo de la ingeniería del sistema de elevación así como el desarrollo de los planos de ensamble y detalle del sistema.
- ii. Los costos de adquisición de los equipos contemplan la compra directa de los equipos que se encuentran en los proveedores locales y la fabricación de las piezas que se requieran.
- iii. Los costos de mano de obra directa contemplan el montaje del sistema de elevación y su puesta en marcha.
- iv. Se ha considerado contratar a un técnico general y dos ayudantes para el montaje y puesta en marcha del sistema de elevación.
- v. Respecto a los costos del personal a contratar, se ha contemplado que trabajarán por 5 días durante horas diarias pagándoseles una tarifa por hora que será estimada según un análisis del mercado.
- vi. Se ha considerado utilizar como moneda para estimar el precio final el Nuevo Sol Peruano, por lo que los precios que se encuentren en dólares serán transformados a la moneda local mediante la tasa de cambio actual a Junio del 2013 que es de "TC=2.7".
- vii. Respecto al costo del tipo de cilindro hidráulico seleccionado, se cotizó la fabricación de este en la empresa Fluidtek de manera tal que se reduzca el precio final de diseño del elevador, por lo tanto se utilizan dichos montos en la tabla de costos del sistema hidráulico
- viii. Se ha considerado un costo adicional por gastos e imprevistos que corresponde al 10% de la inversión total del sistema de elevación como un

factor de seguridad en caso existiesen demoras o contratiempos en el montaje del equipo.

- ix. Los costos presentados no incluyen el impuesto general a las ventas (I.G.V.)

4.4 Costos del sistema de elevación

A continuación se muestra la Tabla 4.2 que muestra los costos de las piezas y fabricación correspondientes a la parte estructural del sistema de elevación

Tabla 4.2: Costos compra y fabricación de piezas - Parte estructural

N°	Denominación	Cant.	Unidades	Material/Norma	Costo x unidad (\$)	Costo x unidad (S/.)	Costo total (S/.)
1	Angulo estructural de 2 y 1/2" x 2 y 1/2" x 3/16	2	pzas	ASTM - A36	27	72.9	145.8
2	Platinas de 1/2" x 2 y 1/2"	1	pzas	ASTM - A36	38	102.6	102.6
3	Plancha estriada	1	pzas	-	91	245.7	245.7
4	Pasadores de D=25mm	1	pzas	SAE 1022	26	70.2	70.2
5	Pasadores de D=15mm	1	pzas	SAE 1022	10	27	27
6	Ruedas 3"	4	pzas	ASTM - A36		20	80
7	Anillo de seguridad	4	pzas	ANSI B27.7M	1	2.7	7.29
8	Arandela plana D=15 mm	4	pzas	DIN - 125A	0.15	0.405	1.62
9	Arandela plana D=21 mm	2	pzas	DIN - 125A	0.2	0.54	1.08
10	Barra circular	1	pzas	AISI 4340		160	160
11	Pernos hexagonales M6 x 16	11	pzas	DIN 933	0.2	0.54	5.94
12	Pernos hexagonales M6 x 22	9	pzas	DIN 933	0.3	0.81	7.29
13	Pernos hexagonales M5 x 12	12	pzas	DIN 933	0.2	0.54	6.48
14	Pernos hexagonales M4 x 40	6	pzas	DIN 931 -1	0.2	0.54	3.24
15	Pernos hexagonales M5 x 16	2	pzas	DIN 6921	0.15	0.405	0.81
16	Tuercas hexagonales M6	20	pzas	DIN 934	0.15	0.405	8.1
17	Tuercas hexagonales M4	6	pzas	DIN 934	0.15	0.405	2.43
18	Tuercas hexagonales M7	2	pzas	DIN 6923	0.15	0.405	0.81
19	Pernos de anclaje 1/2 - 3-3/4"	6	pzas	-	1.82	4.914	29.484
20	Pernos de anclaje 1/4 - 1-3/4"	6	pzas	-	1	2.7	16.2
21	Pin de seguridad 5 x 35	6	pzas	ISO 8739	0.5	1.35	8.1
22	Articulaciones fijas 1/2"	4	pzas	ASTM - A36	15	40.5	162
23	Articulaciones fijas 3/8"	8	pzas	ASTM - A36	10	27	216
24	Plaquititas de seguridad orejas	6	pzas	ASTM - A36	5	13.5	81
25	Barandas	2	pzas	AISI 316	30	81	162
26	Platinas entre brazos de elevación	2	pzas	ASTM - A36	10	27	54
27	Costos de piezas adicionales, fabricación y corte de piezas	-	-	-	-	-	300
Costo total compra y fabricación de piezas - Parte estructural							1,906

A continuación se muestra la Tabla 4.3 que corresponde a los costos de los equipos y componentes del sistema hidráulico.

Tabla 4.3: Costos de equipos y componentes del sistema hidráulico

N°	Denominación	Cant.	Costo x unidad (\$)	Costo x unidad (S/.)	Costo total (S/.)
1	Cilindro hidráulico CGDTMP5 50/40/165	2	700	1,890	3,780
2	Horquilla de cilindro hidráulico CGK40	1	100	270	270
3	Bomba de engranajes de 4 cm ³	1	300	810	810
4	Motor asíncrono jaula de ardilla de 1.5 hp	1	180	486	486
5	Válvula direccional	1	180	486	486
6	Válvula relif	1	70	189	189
7	Válvula check	1	40	108	108
8	Válvula	1	75	202.5	202.5
9	Válvula reguladora de flujo	1	90	243	243
10	Mangueras	2	20	54	108
Costo total sistema Hidráulico					6,683

Luego se muestra la Tabla 4.4 que corresponde a los costos de la mano obra directa para el montaje del sistema de elevación.

Tabla 4.4: Costos de mano de obra directa (MOD)

N°	Denominación	Costo por hora (S/.)	Días de trabajo	Costo total
1	Técnico - supervisor	18	5	720
2	Ayudante mecánico	9	5	360
3	Ayudante eléctrico	9	5	360
Costo total MOD				1,440

Finalmente se muestra el costo total estimado de la inversión en la Tabla 4.5, que corresponde a la suma de los 3 costos mencionados anteriormente sumado al costo de la fabricación de la fosa de cemento, del diseño del sistema de elevación y del porcentaje de gastos adiciones por imprevistos.

Tabla 4.5: Estimado total de la inversión

N°	Denominación	Costo total (S/.)	Costo total (\$)
1	Costo total compra y fabricación de piezas - Parte estructural	1,906	
2	Costo total sistema Hidráulico	6,683	
3	Costo total de MOD	1,440	
4	Costo de fabricación de fosa de cemento	800	
5	Costo de diseño del sistema de elevación	2,500	
6	Costos de equipos eléctricos	2,000	
7	Costo de seguridad por imprevistos	1,532.9	
Costo estimado total de la inversión		S/. 16,862.00	\$6,246.00

Como se puede apreciar, el costo total de inversión para el sistema de elevación diseñado resulta de aproximadamente de S/. 16,862 Nuevos Soles, que equivale a US \$ 6,246 dólares americanos con tipo de cambio a junio de 2013.

Actualmente en el Perú se venden diferentes tipos de elevadores que tienen un precio estimado que oscila entre los US \$4,000 y US \$10,000, por lo que se considera que la inversión en el sistema de elevación propuesto es factible dado que el costo total de la inversión se encuentra dentro de ese rango.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- i. En base a la información sobre la existencia de un grupo hidráulico que es empleado en el simulador de marcha del laboratorio de Investigación en Biomecánica y Robótica Aplicada PUCP, se plantea hacer una evaluación a futuro para verificar si dicho grupo hidráulico posee la capacidad necesaria para poder accionar en simultáneo el sistema de elevación diseñado y el simulador de marcha.
- ii. Luego de haberse efectuado el trabajo de albañilería de acondicionamiento de la fosa donde se montará la plataforma, se debe instalar la estructura inferior de la misma con sus respectivos pernos de anclaje antes de realizar el montaje de la plataforma, los brazos de elevación y los cilindros hidráulicos.
- iii. Se sugiere utilizar un rectificador en el sistema eléctrico para reducir la tensión de 220 V a 24 V DC como medida de seguridad para evitar que los usuarios del sistema de elevación sufran algún tipo de accidente en el eventual caso de contacto directo con algún cable del sistema y se produzca una sobretensión o cortocircuito.
- iv. Será necesario utilizar un tubo de PVC subterráneo para el traslado del cableado eléctrico desde el sistema de elevación hacia el tablero eléctrico. Asimismo, se recomienda utilizar un tubo de fierro negro subterráneo para colocar las mangueras de aceite del elevador hacia el grupo hidráulico y viceversa.
- v. En el manual de operaciones y en algún lugar visible se deberá señalar el límite máximo de carga para el sistema de elevación de la plataforma, el cual no debe exceder los 300 kg de peso de diseño.
- vi. Realizar un mantenimiento periódico al sistema hidráulico y eléctrico de manera tal que se puedan detectar a tiempo algunas fallas típicas como fugas de aceite o cables averiados que puedan devenir en accidentes.

- vii. El elevador podrá ser accionado tanto por el paciente como por el ayudante, pero se recomienda que solo sea operado por el ayudante para evitar problemas o accidentes.
- viii. Los costos mencionados en el capítulo 4 del presente proyecto han sido determinados en base a cotizaciones obtenidas de diferentes empresas del medio local con un precio vigente a la fecha.
- ix. Es importante resaltar que se pueden reducir costos según la selección del material y/o equipo utilizados. En el proceso de selección de los mismos se verificaron varias opciones de material, como en el caso de seleccionar el material para la barra transversal que une los brazos de elevación, se prefirió usar un acero 4340 en lugar un SAE 1022 por ser más resistente al esfuerzo normal debido a flexión. Asimismo, con este acero se pudo obtener un barra circular con un menor diámetro de sección, de esta manera se pudo considerar cilindro hidráulicos de menor diámetro de embolo teniendo una reducción de 63mm a 50 mm cuya incidencia en el costo es realmente notable, mientras que la variación del costo del material del eje transversal es relativamente pequeña.

CONCLUSIONES

- i. Se diseñó un sistema de elevación del tipo tijeral que pueda transportar del nivel del piso hasta una altura de 0.7 m a dos pasajeros con una carga total de diseño en 300 kg para el laboratorio de investigación en Biomecánica y Robótica aplicada PUCP. Este proyecto se obtuvo aplicando la metodología de diseño según VDI2225, de tal manera que el diseño propuesto resulte la mejor alternativa posible de ejecución y solución al problema planteado.
- ii. Se concluye que para espacios reducidos y alturas de elevación relativamente pequeñas, el sistema de elevación del tipo tijeral es la mejor solución técnica económica, debido a que se pueden conseguir los componentes y materiales para la construcción de este sistema con relativa facilidad y en forma económica en el mercado local.
- iii. En el diseño de un sistema de elevación del tipo tijeral es importante considerar la altura o distancia vertical que deberá recorrer el elevador; siendo un factor determinante para el diseño del mismo. Por lo tanto el tamaño de los brazos de elevación debe ser superior al desplazamiento vertical que se deberá recorrer.
- iv. Al momento de hacer las consideraciones del diseño de un sistema de elevación del tipo tijeral es importante definir la ubicación de los cilindros hidráulicos para someterlos a la menor fuerza posible en los mismos. Asignando una posición de los cilindros hidráulicos en un plano en paralelo con las articulaciones fijas de la base, se obtuvo menores valores de fuerza en relación con la ubicación de los cilindros en un plano paralelo a las articulaciones móviles de la base
- v. En base al factor de seguridad ($FS=3$) utilizado se concluye que los materiales empleados en el diseño del sistema de elevación pueden soportar cargas mayores a las consideradas en el diseño por lo cual el elevador podrá funcionar con una carga superior a la establecida como máxima, sin embargo se recomienda su funcionamiento dentro de los parámetros establecidos. Esto

se ha realizado con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas que se posicionarán sobre el sistema de elevación.

- vi. La inversión total para la fabricación e implementación del sistema de elevación es de S/. 16,862 los cuales incluyen los costos de los equipos y componentes a instalar, la fosa de cemento y el trabajo de montaje.
- vii. La utilización del software Autodesk Inventor facilitó el diseño del sistema de elevación debido a que se pudo modular el sólido en 3D y de esta manera verificar que las dimensiones de los cilindros hidráulicos seleccionados eran las apropiadas dentro del espacio disponible para su accionamiento.
- viii. Un criterio importante a considerar en el diseño de un sistema de elevación tipo tijeral es que la ubicación del cilindro respecto de los brazos de elevación es crítica para determinar la fuerza que soportará el cilindro. Asimismo, esta ubicación determinará si es que el cilindro se puede montar en el espacio definido, por lo que es importante analizar varias posiciones de ubicación distintas para el cilindro hidráulico para obtener la ubicación precisa que cumpla con las condiciones mencionadas.

BIBLIOGRAFÍA

- i. [BARRIGA, 1985] BARRIGA, B (1985), Métodos de Diseño en Ingeniería Mecánica. Pontificia Universidad Católica del Perú
- ii. [HELLMUT, 1972] HELLMUT, E. (1972), Aparatos de Elevación y Transporte. Barcelona, España.
- iii. [ALEXANDROV, 1976] ALEXANDROV, M (1976), Aparatos y Máquinas de Elevación y Transporte. Moscú, Rusia.
- iv. [LASHERAS, 1980] LASHERAS, J. (1980), Ascensores y Escaleras Mecánicas. Barcelona, España
- v. [BARRIGA, 1986] BARRIGA, B (1986), Elementos Básicos de Oleo hidráulica. Pontificia Universidad Católica del Perú
- vi. [LEDO, 1978] LEDO, J (1986), Ascensores y Montacargas. Barcelona, España.
- vii. [RODRÍGUEZ, 2009] RODRÍGUEZ, J (2009), Resistencia de materiales 2. Pontificia Universidad Católica del Perú
- viii. [ZLATAR, 2008] ZLATAR, E (2008), Diseño de una Máquina Traccionadora de Chasis, Tesis para optar al Título de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ix. [LEVINSON, 1984] LEVINSON, I (1984), Machine Design. Virginia, E.E.U.U.
- x. [YOUNG, 1989] YOUNG (1989), Roark's Formulas For Stress and Strain. New York, E.E.U.U.
- xi. [HIBBELER, 2011] HIBBELER, R (2011), Mecánica de Materiales. México
- xii. [HIBBELER, 2004] HIBBELER, R (2004), Estática. México