

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico*

PROYECTO TÉCNICO

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA GRÚA MÓVIL PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON DISCAPACIDAD EN ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN”

Autor:

Mateo Ismael Astudillo Flores

Tutor:

Ing. John Calle Sigüencia, M. Sc.

Cuenca - Ecuador

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Mateo Ismael Astudillo Flores, con documento de identificación N° 0604849265 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA GRÚA MÓVIL PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON DISCAPACIDAD EN ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2019



Mateo Ismael Astudillo Flores
C.I.: 0604849265

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA GRÚA MÓVIL PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON DISCAPACIDAD EN ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN”, realizado por Mateo Ismael Astudillo Flores, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'John Calle', is written over a horizontal line.

Ing. John Ignacio Calle Sigüencia, M. Sc.
C.I.: 0102118213

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Mateo Ismael Astudillo Flores con número de cédula 0604849265, autor del trabajo de titulación: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA GRÚA MÓVIL PARA EL TRANSPORTE DE PACIENTES CON DISCAPACIDAD EN ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN” certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2019



Mateo Ismael Astudillo Flores
C.I.: 0604849265

DEDICATORIA

A los chicos y colaboradores de la fundación OSSO por enseñarme que no se debe perder nunca la fe ni la sonrisa. ¡Gracias Guerreros!

A Tanya, mi compañera de aventuras, por tu fortaleza.

A Eduardo, María Augusta, María Cristina y Josué, por el cariño, la educación y por enseñarme a nadar en los mares calmados y en los más turbios.

A Luz María y José, por su sabiduría y apoyo infaltable.

A Matías, para que el día que leas esto sepas que pienso en ti mientras lo escribo.

Por ustedes y para ustedes.

Mateo.

AGRADECIMIENTOS

Al Gran Espíritu por permitirme ser.

A papi y a mami quienes forjaron mucho de lo que soy y de lo que quiero llegar a ser.

A mis abuelitos Luz María y José por todo el apoyo que nunca me ha faltado.

A mis hermanos Josué y Cristina, por permitirme ser su ejemplo.

A Tanya, porque no puedo describir lo agradecido que estoy contigo y todo lo que te debo, eres mi luz.

A Andreita Ayala, por brindarme siempre desinteresadamente tu ayuda.

A Pedro, Danilo, Pablo y Enrique, por ayudarme a cumplir con ustedes esta meta.

A todos mis amigos, profesores, mentores y entrenadores, por compartir conmigo desde mi infancia su conocimiento y sobre todo por enseñarme que la inteligencia vence a la fuerza, pero la disciplina siempre vencerá a la inteligencia.

Al ingeniero John Calle, por haber confiado en mí y haber puesto las manos en el fuego por nosotros y nuestras capacidades.

A los niños, jóvenes y colaboradores de la fundación OSSO, por enseñarme el verdadero valor de la familia y de la amistad.

A Matías, por inspirarme a escribir todas las líneas de este texto.

Si estoy donde estoy, es porque me subí en hombros de gigantes, y esos son todos ustedes.
¡GRACIAS!

Mateo.

RESUMEN

En el presente proyecto técnico se realiza el diseño, de una grúa de transferencia para pacientes con discapacidad motriz, posteriormente su construcción, e implementación en un centro de acogida de personas discapacitadas.

En una primera instancia se procede a la revisión de literatura y el estudio del estado del arte de mecanismos existentes con similares características y que se encuentran en el mercado nacional e internacional, luego se realiza la observación del proceso de traslado de pacientes dentro de la institución beneficiaria para establecer las necesidades de sus pacientes y colaboradores, y el levantamiento condiciones y restricciones para el diseño del dispositivo.

A continuación se procede con el diseño de un dispositivo que sirva para el traslado de pacientes dentro de las instalaciones de la fundación y que sea de apoyo para alcanzar distintas alturas para las actividades de rehabilitación de los mismos, además, dichos diseños serán validados con los softwares Autodesk Inventor y ADAMS View.

Por último, se construye el mecanismo y se realizan las pruebas de funcionamiento para asegurar el correcto funcionamiento y garantizar la seguridad de la integridad física de los usuarios; el resultado final es una grúa de transferencia móvil que es ergonómica, de fácil mantenimiento, de simple montaje y desmontaje, y que no ocupa un espacio considerable dentro de las instalaciones mencionadas.

Palabras Clave: grúa de transferencia, discapacidad motriz, movilización de pacientes.

ABSTRACT

In the present technical project, the design of a transfer crane for patients with motor disabilities is carried out, then its construction and the implementation in a reception center for disabled people. The first step includes a review of the literature and a study of existing mechanisms of similar characteristics and their availability on the national and international market is carried out. Then there is an observation process of the transporting of patients in the beneficiary institution to establish the needs of their patients and collaborators, and the lifting of the conditions and restrictions for the design of the device.

The following steps include the design of a device that serves to transport patients within the facilities of the foundation. Additionally, the design must ensure support to reach the varying heights for different rehabilitation activities, and that these designs are validated with Autodesk Inventor Software and ADAMS view.

Finally, the mechanism is built and performance test are carried out to ensure the correct functioning and safety of users physical integrity. The final result is a mobile transfer crane that is ergonomic, easy to maintain, simple to assemble and disassemble, and that does not occupy a considerable space within existing facilities.

Keywords: Transfer crane, motor disability, patient's mobilization.

ÍNDICE

Cesión de derechos de autor.....	II
Certificación.....	III
Declaratoria de responsabilidad	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
Índice	IX
Índice de figuras	XI
Índice de tablas.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. PROBLEMA.....	16
2.1 Antecedentes	16
2.2 Delimitación	16
2.3 Importancia y Alcance.	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	19
4.1 Discapacidad	19
4.1.1 Grados y tipos de discapacidad.....	20
4.1.2 Discapacidad Motriz	21
4.2 Manejo Manual de Cargas y Manejo Manual de pacientes.....	22
4.3 Grúas de transferencia para personas con discapacidad.....	23
4.3.1 Tipos de grúas de transferencia.....	24
4.4 Actuadores lineales.....	29

4.5	Arneses.....	33
4.6	Perchas	34
5.	MARCO METODOLÓGICO	35
5.1	Levantamiento de la necesidad.	36
5.1.1	Universo de trabajo y obtención de datos.....	36
5.2	Diseño de la grúa de transferencia.	42
5.2.1	Dimensionamiento de los elementos.....	45
5.2.2	Deflexiones de los elementos.....	62
5.2.3	Validación de la grúa mediante simulación en software 3D.....	65
5.2.4	Selección del actuador.....	68
5.2.5	Límite de estabilidad.....	71
5.3	Construcción de la grúa de transferencia.	77
5.3.1	Proceso de construcción.....	77
5.3.2	Análisis de precios unitarios.	83
5.4	Pruebas de funcionamiento.	87
5.5	Implementación.....	88
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
7.	CONCLUSIONES.....	92
8.	RECOMENDACIONES	93
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	93
	Anexos.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Grado de discapacidad física en el Ecuador [3].	14
Figura 2 Esquema general de la CIF [12].	20
Figura 3 Tipos de discapacidad [13].	21
Figura 4 Esquema de grúa de transferencia para pacientes con discapacidad [6].	24
Figura 5 Grúa de transferencia fija para piscinas [20].	25
Figura 6 Grúa de techo Handi-Move [21].	26
Figura 7 Mecanismo para traslado (silla - automóvil) [22].	27
Figura 8 Mecanismo tipo grúa para transferencia de personas con discapacidad [23].	27
Figura 9 Grúa de transferencia móvil comercial [24].	28
Figura 10 Grúa de transferencia móvil con actuador hidráulico [25].	28
Figura 11 Actuador electromecánico LINAK [32].	30
Figura 12 Actuador oleohidráulico 9008A [33].	30
Figura 13 Actuador oleohidráulico Holmac [34].	31
Figura 14 Actuador electromecánico FESTO [35].	31
Figura 15 Actuador electromecánico LINAK LA44 [36].	32
Figura 16 Actuador electromecánico MMAC300 [37].	32
Figura 17 Arnés dorso lumbar Ortopedia Lowcost [39].	33
Figura 18 Percha para camilla [41].	34
Figura 19 Percha Hill Rom [43].	34
Figura 20 Proceso de diseño, construcción e implementación de una grúa de transferencia para pacientes con discapacidad.	35
Figura 21 Probabilidad de accidentes.	38
Figura 22 Probabilidad de presentarse molestias físicas.	39
Figura 23 Distintas molestias físicas presentadas	39
Figura 24 Modificación del tiempo de traslado y aseo.	40
Figura 25 Distribución de las habitaciones y pasillo.	42
Figura 26 Esquema 3D de la grúa de transferencia.	43
Figura 27 Simulación de la grúa sometida a cargas en ADAMS view.	44
Figura 28 Desplazamiento vs Tiempo - Vástago.	44
Figura 29 Esquema general de la grúa con cargas y momentos.	46

Figura 30 Diagrama de cuerpo libre - Brazo superior	46
Figura 31 Diagramas de corte y momento - Brazo superior	48
Figura 32 Diagrama de cuerpo libre - Mástil.....	49
Figura 33 Diagrama de cuerpo libre 3D – Base.....	51
Figura 34 Diagrama de cuerpo libre x-y – Base.....	51
Figura 35 Diagrama de cuerpo libre 3D - Brazo Inferior	53
Figura 36 Diagrama de cuerpo libre - Brazo inferior.....	53
Figura 37 Diagrama de corte y momento - Brazo inferior.	54
Figura 38 Diagrama de cuerpo libre - Pasador A.	55
Figura 39 Diagrama de cuerpo libre - Pasador B.	57
Figura 40 Diagrama de cuerpo libre - Pasador B.	58
Figura 41 Diagrama de cuerpo libre - Pasador D.....	59
Figura 42 Diagrama de cuerpo libre - Soporte para pasador A.....	60
Figura 43 Diagrama de cuerpo libre - Soporte para pasador B.....	60
Figura 44 Diagrama de cuerpo libre - Soporte para pasador D.	61
Figura 45 Esquema de deflexión - Base.....	63
Figura 46 Esquema de deflexión - Brazo inferior.	64
Figura 47 Parámetros de mallado.	65
Figura 48 Simulación de deflexiones.....	66
Figura 49 Simulación de esfuerzos de Von Mises.....	67
Figura 50 Simulación de esfuerzos de Von Mises – Base y mástil.....	68
Figura 51 Variación de energía del actuador vs Tiempo	69
Figura 52 Velocidad vs Tiempo	70
Figura 53 Esquema de grúa con centro de masa - Primera posición.	72
Figura 54 Esquema de grúa con centro de masa - Segunda posición.	75
Figura 55 Esquema de grúa con centro de masa - Tercera posición.....	76
Figura 56 Construcción de grúa de transferencia.....	77
Figura 57 Diagrama de procesos para construcción de la grúa.....	78
Figura 58 Diagrama de procesos para construcción de base y mástil.....	79
Figura 59 Diagrama de procesos para construcción de brazos inferiores.....	80
Figura 60 Diagrama de procesos para construcción de brazo superior.....	81
Figura 61 Diagrama de procesos para construcción de sistema de apertura y cierre.....	81

Figura 62 Ensamblaje de elementos de la grúa de transferencia.....	82
Figura 63 Ensamblaje de actuador, baterías y controlador.	82
Figura 64 Grúa de transferencia terminada.	83
Figura 65 Prueba de funcionamiento con pacientes, Fundación OSSO [7].	88
Figura 66 Entrega de la grúa de transferencia en la fundación OSSO.	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas del uso de grúas de transferencia [19].	24
Tabla 2 Tabla comparativa de grúas de transferencia disponibles en el extranjero.	29
Tabla 3 Pesos, tallas y discapacidades de los pacientes de la fundación OSSO [7].	41
Tabla 4 Matriz de ponderaciones para selección del actuador.	71
Tabla 5 Centro de masa - Primera posición 73	73
Tabla 6 Centro de masa - Segunda posición.	74
Tabla 7 Centro de masa - Tercera posición.....	75
Tabla 8 APU - Brazos inferiores.....	84
Tabla 9 APU - Base y mástil.....	85
Tabla 10 APU - Brazo superior.....	86
Tabla 11 Análisis de costos totales.	87

1. INTRODUCCIÓN

La discapacidad es toda restricción o ausencia de la capacidad para realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano [1].

Existen distintos tipos de discapacidades, como: psíquica, sensorial, intelectual, visceral, mental y físico motora, esta última se define como la dificultad que presentan algunas personas para participar en actividades propias de la vida cotidiana, que surge como consecuencia de la interacción entre una dificultad específica para manipular objetos o acceder a diferentes espacios, lugares y actividades que realizan todas las personas [2]. Sin embargo estos distintos tipos de discapacidades pueden manifestarse al mismo tiempo en una misma persona.

Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS), en el Ecuador existen 207,457 personas con discapacidad motriz o física [3], de éstas, alrededor del 50.4%, sufre de dicha discapacidad en un grado superior al 50%. En la figura 1, se muestran los grados de discapacidad física y el porcentaje de personas que lo padecen.

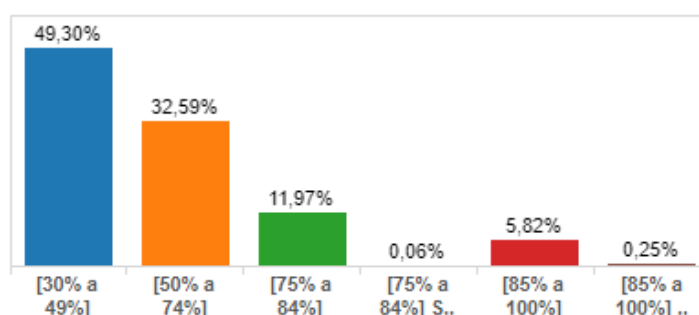


Figura 1 Grado de discapacidad física en el Ecuador [3].

Las personas con grado de discapacidad motriz del 50% o más, no pueden realizar muchas acciones por sí mismas y deben valerse de otras personas o dispositivos (como sillas de ruedas), que sean quienes puedan ayudarles a realizar actividades como su traslado de un lugar a otro.

La discapacidad física genera una serie de necesidades de infraestructura básica, que habitualmente no es posible encontrar en los hogares, tales como la distribución y tamaños de los espacios hasta la disconformidad de tales espacios en que se permanece

por largo tiempo o cuando se requiere desplazamiento. Esto, debido al desconocimiento sobre qué tipo de arreglos puede hacerse para mejorar la calidad de vida de las personas discapacitadas y a la falta de recursos económicos, entre otras causas. Producto de esto no sólo se afectan éstas personas, sino que también sus cuidadores (principalmente familiares), quienes muchas veces comienzan a presentar enfermedades físicas y mentales derivadas de la tarea de movilizarlos incluso en distancias cortas [4].

Existen algunos dispositivos diseñados para el transporte de personas con capacidades menores, sin embargo algunos proyectos se enfocan principalmente en las personas encargadas del cuidado: El asistente de una persona con deficiencia motriz tiene que mover al paciente de la cama o camilla a la silla de ruedas y viceversa; una forma de ayudar al enfermero en su trabajo y a su vez evitarle posibles lesiones ocasionadas por dicho traslado es un dispositivo especializado para el traslado de las personas con discapacidad motriz. Se determinó que el dispositivo óptimo para realizar este trabajo es una grúa de transferencia [5].

Por otra parte algunos autores hacen referencia a la importancia de la seguridad al momento del traslado del paciente: debido a la necesidad de facilitar el traslado de personas discapacitadas para sus diferentes terapias se hace necesario contar con un dispositivo móvil de tipo elevación basado en los mecanismos semejantes a los que se utilizan en las grúas industriales, por lo que un prototipo debe proporcionar el servicio correspondiente a movimiento fácil y rápido para las personas discapacitadas [6].

2. PROBLEMA

2.1 Antecedentes

En la ciudad de Cuenca, existen distintos centros de acogida para niños y adolescentes con discapacidad física e intelectual; la Fundación OSSO¹, acoge a 21 niños y adolescentes, 19 de ellos necesitan de atención prioritaria, y ayuda de sillas de ruedas o colaboradores para su movilización, 12 personas encargadas del cuidado de los pacientes brindan ayuda para la realización de las actividades como : transportarlas desde la cama hacia la silla de ruedas, de la silla de ruedas a la ducha, de la ducha a la silla de ruedas, de la silla de ruedas a la colchoneta de rehabilitación y de la silla de ruedas a la cama [7].

El transporte de los pacientes inicia en la mañana cuando deben llevarlos desde la cama a la silla de ruedas, existen habitaciones a las que se ingresa por un pasillo en donde es complicado introducir dichas sillas, por esta razón es que los discapacitados deben ser trasladados en brazos hasta éstas, esta situación se repite en otras actividades como mudas de pañal, aseo diario, ubicación de los mismos en colchonetas de rehabilitación, y en la noche cuando deben regresar a sus lugares de descanso.

Por otro lado, la edificación en donde está ubicada ésta fundación, no está diseñada para albergar a pacientes con limitaciones físicas, por lo que sus reducidos pasillos y puertas, resultan incómodos para realizar la labor del transporte de los pacientes, esto sumado a otros factores como peso y talla aumenta el riesgo de que se produzcan golpes o accidentes, que de una u otra forma pueden provocar lesiones del sistema músculo-esquelético [7].

2.2 Delimitación

El proyecto será desarrollado en la provincia del Azuay en el cantón Cuenca, en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana para el diseño, y Talleres Avilés para la construcción del dispositivo; usaremos tecnología de mecanizado por arranque de viruta como torneado, fresado, taladrado, corte por chorro de agua, entre otros. Para el desarrollo del diseño y construcción, se cuenta con el apoyo de los miembros del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana y

¹ OSSO: Organización de Servicios para el Socorro de los Orfanatos, organización internacional creada para atender a niños abandonados con necesidades especiales.

estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, quienes cuentan con el conocimiento necesario para dar soporte a la exitosa elaboración del proyecto.

2.3 Importancia y Alcance.

Ésta investigación, pretende diseñar y construir un dispositivo para la Fundación OSSO, que beneficie a las personas con problemas de movilidad y sus colaboradores; sin embargo, este proyecto podrá ser replicable para distintas familias, instituciones u organizaciones, que traten con pacientes con una similar situación médica.

Además, actualmente resulta complicado adquirir mecanismos para el traslado de discapacitados, esto debido a precios y disponibilidad en el medio, por lo que se quiere construir un dispositivo de menor costo, ya que se lo realizará con tecnologías de mecanizado y materiales disponibles en el mercado local, permitiendo que sea más accesible para los posibles usuarios.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar, construir e implementar una grúa móvil para el transporte y ubicación en posición de rehabilitación de personas con discapacidad en las instalaciones de la fundación Pequeñitos de OSSO.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar la situación actual de la edificación de la fundación OSSO y analizar los diferentes tipos de dispositivos existentes para ubicación en posición de rehabilitación y el transporte de pacientes con discapacidad en lugares reducidos.
- Determinar los parámetros del diseño de un dispositivo mecánico para el transporte y ubicación en posición de rehabilitación de pacientes con discapacidad con la ayuda de software para ingeniería que facilite la simulación y modelado del sistema.
- Construir el dispositivo mecánico, utilizando los procesos de manufactura existentes en la localidad y con los materiales adecuados disponibles en el mercado local garantizando las funciones para las que fue diseñado.
- Realizar un estudio de precios unitarios para determinar el costo de un dispositivo mecánico para el transporte y ubicación en posición de rehabilitación de pacientes con discapacidad motriz.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para el desarrollo del mecanismo en cuestión, es necesario realizar un análisis de la literatura existente, en primer lugar sobre la discapacidad y los tipos existentes, enfocándonos principalmente en la discapacidad motriz, esto permitirá ponernos en contexto sobre la situación en la que se encuentran las personas con ésta afección, posteriormente sobre mecanismos que cumplan con funciones y características similares al objetivo del proyecto, movilizar a pacientes garantizando su seguridad e integridad física, además, se profundiza en los distintos actuadores existentes en el mercado que permitan alcanzar distintas alturas, las mismas que son necesarias para sus actividades de rehabilitación.

4.1 Discapacidad

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), discapacidad es un término general que abarca las deficiencias que afectan a la estructura o función corporal, las limitaciones de la actividad como dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de participación que son problemas para participar en situaciones vitales de una persona. [8]

Por otra parte, en el Ecuador, la Ley Orgánica de Discapacidades, considera persona con discapacidad a toda aquella que, como consecuencia de una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, con independencia de la causa que la hubiera originado, ve restringida permanentemente su capacidad biológica, psicológica y asociativa para ejercer una o más actividades esenciales de la vida diaria. [9]

En general, la discapacidad es toda restricción o ausencia de la capacidad para realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano, como consecuencia de una deficiencia. Las discapacidades reflejan, por tanto, alteraciones a nivel de la persona. [10][11]

De acuerdo a datos oficiales de la OMS, más de mil millones de personas (al menos el 15% de la población mundial) padecen de alguna forma de discapacidad [8]; en cuanto a barreras que impiden el libre desenvolvimiento de los discapacitados tenemos: costos prohibitivos (en muchos casos estos no son diferenciados de acuerdo a sus condiciones), la oferta limitada de servicios, aptitudes y conocimientos inadecuados de las personas que los rodean y obstáculos físicos, este último, hace referencia al acceso desigual a edificios, equipos inaccesibles, mala señalización, puertas estrechas, escaleras en interiores, baños inadecuados y zonas de estacionamiento inaccesibles.

4.1.1 Grados y tipos de discapacidad.

En 2001 la 54ª Asamblea General de la OMS aprobó la “Clasificación Internacional del Funcionamiento, la Discapacidad y la Salud” (CIF), el esquema general se muestra en la figura 2. [12]

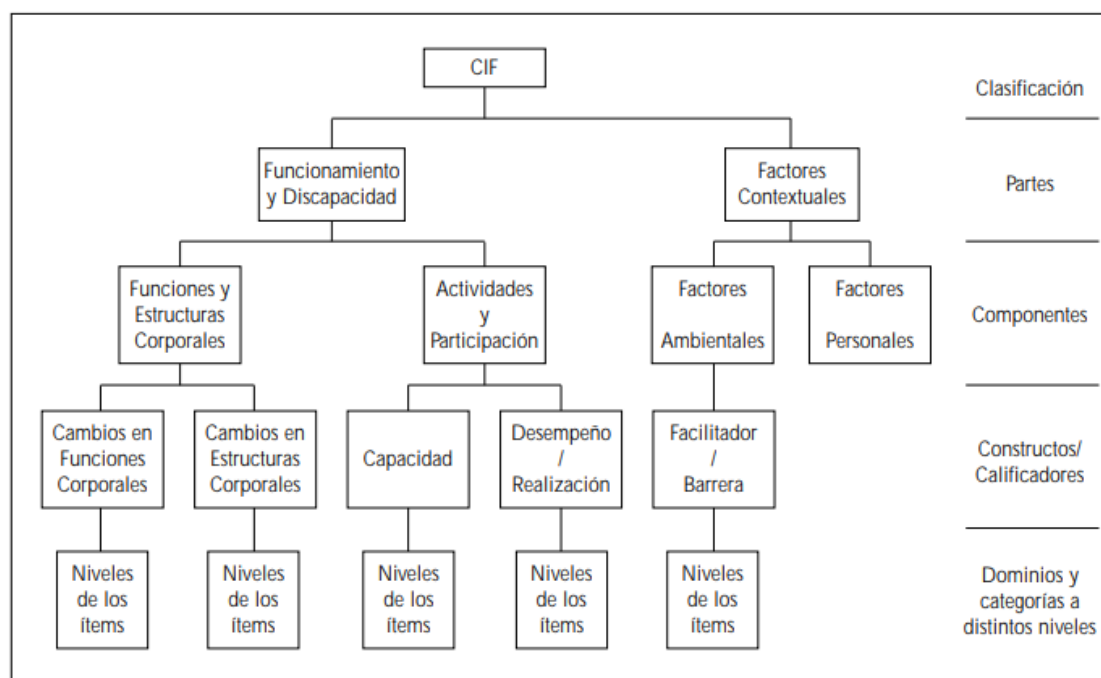


Figura 2 Esquema general de la CIF [12].

La clasificación mostrada, se divide en dos partes: 1) Funcionamiento y Discapacidad, 2) Factores contextuales; la primera hace referencia a los cambios que se presentan en las funciones fisiológicas y psicológicas de los sistemas corporales, cambios en las partes anatómicas del cuerpo como extremidades y órganos, y a la capacidad de ejecución de tareas en un entorno uniforme. Por otro lado, la segunda trata acerca de la influencia de factores internos (mentales) y externos (barreras físicas, sociales y actitudinales) y como estos se relacionan con la funcionalidad y discapacidad de las personas.

A partir de lo anterior, se puede determinar el grado de discapacidad de una persona, estos se resumen en cinco niveles que se muestran a continuación. [12]

1. NO hay deficiencia Ninguna, ausencia, insignificante 0-4%
2. Deficiencia LIGERO Poca, escasa 5-24%
3. Deficiencia MODERADO Media, regular 25-49%

4. Deficiencia GRAVE Mucha, extrema 50-95%
5. Deficiencia COMPLETO total 96-100%

Por otra parte, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI – México), presenta los tipos de discapacidades basándose en la CIF, estos se muestran en el siguiente gráfico [13].

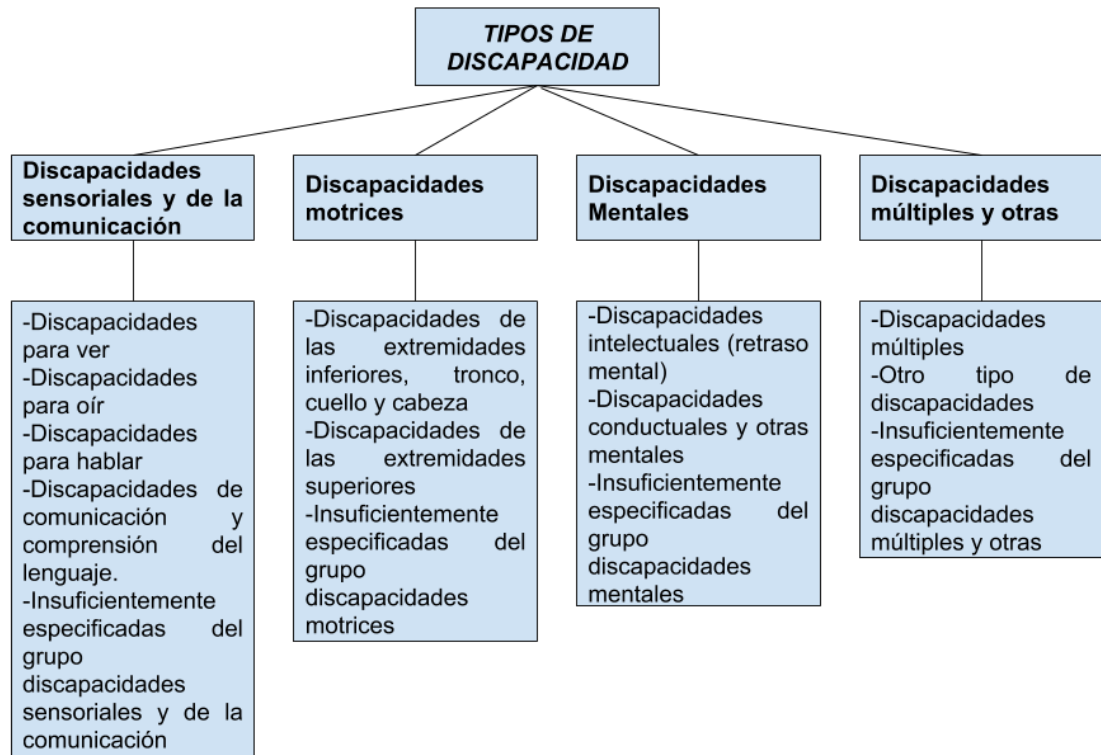


Figura 3 Tipos de discapacidad [13].

4.1.2 Discapacidad Motriz

La discapacidad físico motora en términos generales es una limitación grave para realizar actividades de forma independiente cuya duración sea permanente.

Entre las causas que produce la discapacidad física motora está la ambiental que puede deberse al envejecimiento de la población, causas externas como accidentes, conflictos con armas, mal uso de productos tóxicos como plaguicida, uso de bebidas alcohólicas, drogas, violencia social; en niños se produce por desnutrición, abandono, pobreza extrema, discriminación, desastres naturales.[14]

Entre las causas patológicas de esta afección tenemos [15]:

- **Deformidad:** es cuando el tejido de las extremidades inferiores no permiten adoptar la posición adecuada. Las causas más comunes suelen ser contracturas y retracciones.
- **Debilidad muscular:** se da cuando existe una atrofia muscular, lesiones neurológicas o miopatías.
- **Dolor:** suele suceder cuando hay una tracción tisular.
- **Control neurológico deficitario:** son patologías a nivel neurológico estas alteraciones pueden ser: espasticidad, alteración en la coordinación, patrones de reflejos primitivos del aparato locomotor, alteración de la secuencia de actuación muscular, alteraciones de la propiocepción.
- **Amputaciones:** cortes, quemaduras o enfermedades como cáncer, diabetes que requieren cirugía.
- **Afecciones de la columna vertebral:** lesiones a nivel de la columna que afecta la función motora de la persona.
- **Enfermedades degenerativas:** esclerosis múltiple enfermedad degenerativa del sistema nervioso central.
- **Parálisis cerebral:** anomalía provocada por el desarrollo defectuoso o lesión en el cerebro que puede afectar al control motor, movimiento y postura de la persona.

4.2 Manejo Manual de Cargas y Manejo Manual de pacientes.

Se conoce como manipulación manual de cargas (MMC) a la acción de levantar, colocar, halar o empujar una carga viva (personas o animales) o inanimada realizado por una o más personas.

A manera general, se recomienda realizar una MMC con pesos de hasta 25 kg, sin embargo este número puede verse reducido en mujeres y menores de 18 años en donde el peso máximo recomendado es hasta 15 kg. Cuando la carga máxima es mayor a los valores indicados, es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones [16]:

1. Apoyarse de una o más personas para disminuir la carga individual.
2. Implementar técnicas para mejorar la postura, esto reducirá el impacto sobre la persona que realiza la acción.
3. Utilizar mecanismos que puedan realizar el trabajo por si mismos o que puedan facilitar la manipulación de la carga en mención

Una incorrecta MMC, puede provocar lesiones que pueden llegar a ser graves para la integridad del ser humano, sobre todo en la columna; entre las principales afecciones están. [17]

- Lumbalgias
- Lumbociatalgias
- Hernias discales
- Espondilolistesis
- Síndrome de Túnel carpiano
- Fracturas por sobreesfuerzo

La manipulación manual de pacientes (MMP), hace referencia a la movilización, colocación o empuje de pacientes de una posición a otra o de un lugar a uno distinto, las consideraciones de la MMC también aplican para este caso; la movilización de pacientes constituye uno de los principales factores de riesgo para las lesiones de espalda, entre las tareas que suponen mayor accidentabilidad destacan [18]:

- Incorporar o rotar a un paciente en la cama
- Realizar cambios posturales y desplazamientos hacia la cabecera de la cama
- Transferir a un paciente desde la cama hasta la silla de ruedas
- Transferencia desde la silla de ruedas hasta el WC
- Levantar a un paciente en posición sedente a bipedestación.

4.3 Grúas de transferencia para personas con discapacidad

Una grúa de transferencia es un mecanismo que tiene como objetivo facilitar el transporte de un lugar a otro de personas con problemas de movilidad.

Algunos proyectos se enfocan principalmente en las personas encargadas del cuidado: El asistente de una persona con deficiencia motriz tiene que mover al paciente de la cama o camilla a la silla de ruedas y viceversa; una forma de ayudar al enfermero en su trabajo y a su vez evitarle posibles lesiones ocasionadas por dicho traslado es un dispositivo especializado para la movilización de las personas con discapacidad motriz. Se determinó que el dispositivo óptimo para realizar este trabajo es una grúa de transferencia. [3]

El uso de las grúas de transferencia presenta una serie de ventajas tanto para el usuario como para el cuidador, en lugar del traslado manual; las mismas se observan en la tabla 1 [19].

Tabla 1 Ventajas del uso de grúas de transferencia [19].

VENTAJAS	
Usuario	-Disminuye las molestias y, en algunos casos, el dolor que ocasiona el traslado manual. -Aporta más seguridad a los traslados ya que evitan riesgos de caídas. -Proporciona mayor autonomía para el usuario.
Cuidador/Familiar	-Disminuye los problemas de espalda al evitar realizar una fuerza excesiva. -Es suficiente un cuidador para mover a una persona.

Una característica importante a destacar es que la gran mayoría de las estructuras para elevación de personas requieren de arnés o estructuras extendidas que permitan sostener su peso, procurando tener los requerimientos de seguridad necesarios de manera que pueda otorgar comodidad para el paciente como también la facilidad de instalación para el cuidador [4].

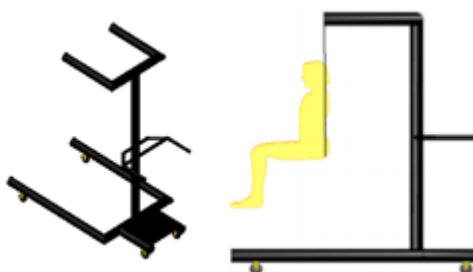


Figura 4 Esquema de grúa de transferencia para pacientes con discapacidad [6].

4.3.1 Tipos de grúas de transferencia

- **Grúas de tipo fija**

Un dispositivo de tipo fijo puede estar empotrado en el piso o sujeto a la pared, esto resulta poco conveniente en lugares en los cuales es necesario trasladar a un paciente de un lugar a otro, viéndose limitados a transferirlos simplemente en una misma área, por ejemplo de la silla de ruedas a la piscina o ducha y viceversa; en muchos casos estas pueden realizar giros de 360° como la que se muestra a continuación.



Figura 5 Grúa de transferencia fija para piscinas [20].

- **Grúas de techo**

Este tipo de grúas se encuentran sujetas al techo, logran el movimiento mediante un sistema de rieles, por lo que el recorrido es definido de acuerdo a la necesidad del usuario; son muy versátiles, sin embargo su utilidad se ve limitada a techos reforzados que puedan soportar todo el peso de la estructura.



Figura 6 Grúa de techo Handi-Move [21].

- **Grúas Móviles**

Las grúas móviles son dispositivos de elevación que permiten el traslado de pacientes de un lugar a otro. Los mismos constan de ruedas en su base, ésta última puede ser de anchura fija o ajustable, esto dependerá de las restricciones presentes tales como las dimensiones de la silla de ruedas o las barreras arquitectónicas que presente el lugar.

Por la importancia de la seguridad debido a la necesidad de facilitar el traslado de personas discapacitadas para sus diferentes terapias, se hace necesario contar con un dispositivo móvil de tipo elevación basado en los mecanismos semejantes a los que se utilizan en las grúas industriales. [6]

De acuerdo con las necesidades y actividades realizadas por los pacientes, se han adaptado sistemas y mecanismos que contribuyan al desarrollo de éstas. El sistema mostrado a continuación se enfocó en la necesidad de poder ubicar al paciente dentro de un vehículo.



Figura 7 Mecanismo para traslado (silla - automóvil) [22].

El siguiente dispositivo se enfoca en las personas encargadas del cuidado de los pacientes por lo que se elaboró un equipo biomecánico para la movilización de pacientes sin autonomía para el personal de enfermería del Hospital Andino Alternativo de Chimborazo, con el fin de disminuir molestias músculo esqueléticas y generar confort. Cabe indicar que el mecanismo que realiza el levantamiento es un actuador hidráulico como se puede observar a continuación. [23].



Figura 8 Mecanismo tipo grúa para transferencia de personas con discapacidad [23].

En Ecuador, no es fácil encontrar grúas de transferencia móviles, sin embargo haciendo un levantamiento de información en páginas web de comercio se puede encontrar dispositivos como el siguiente.



Figura 9 Grúa de transferencia móvil comercial [24].

El dispositivo mostrado anteriormente, posee un sistema de base ajustable y un actuador electromecánico que realiza el levantamiento del paciente, el precio del mismo es de 3998.99 USD [24].

Otro mecanismo disponible en la misma página web de comercio es el que se presenta a continuación, éste cuenta con una base fija y un actuador hidráulico, su precio es de 1549 USD. [25]



Figura 10 Grúa de transferencia móvil con actuador hidráulico [25].

Existen marcas comerciales extranjeras que disponen de grúas de transferencia para su venta, en la tabla 2 se muestran algunas marcas y su precio tentativo en dólares estadounidenses.

Tabla 2 Tabla comparativa de grúas de transferencia disponibles en el extranjero.

CASA COMERCIAL	MODELO	FOTOGRAFÍA	PRECIO (USD)
Ortopedia Lowcost [26]	Powerlift 135 Mini		725.94
Ortopedia en línea [27]	Invacare Birdie Compact		810.98
Ortopedia viva [28]	Aks Foldy II		1065.91
Ortopedia MIMAS [29]	Carlo Classic ALU		2694.82
Ortopedia Lowcost [30]	Oxford Advance		2097.20

4.4 Actuadores lineales.

Un actuador lineal es un elemento capaz de convertir energía hidráulica, neumática o el movimiento generado por un motor de corriente continua en un movimiento rectilíneo, es decir, movimientos de halado y empuje; con esto se tiene la capacidad de realizar acciones como elevar, inclinar, ajustar, halar o empujar objetos desde un punto a otro. [31]



Figura 11 Actuador electromecánico LINAK [32].

A continuación se muestran algunos actuadores y sus especificaciones técnicas.

- **Actuador oleo hidráulico de botella 9008A.** [33]



Figura 12 Actuador oleohidráulico 9008A [33].

Altura mínima con vástago retraído: 200 mm

Altura máxima con vástago extendido: 391 mm

Esfuerzo manivela a capacidad nominal: 34 kgf

Capacidad: 7.3 tnf

Peso del producto: 5.5 kgf

- **Actuador oleo hidráulico Holmatro HGC10S30 [34].**



Figura 13 Actuador oleohidráulico Holmac [34].

Altura máxima con vástago extendido: 390 mm

Capacidad: 10 tnf

Peso del producto: 7.3 kgf.

- **Actuador electromecánico FESTO EPCO [35].**



Figura 14 Actuador electromecánico FESTO [35].

Carrera máxima de trabajo: 400 mm

Capacidad: 650 N

Peso del producto: 2.77 kgf

Velocidad máxima: 180 mm/s

- **Actuador electromecánico LINAK LA44 [36]**



Figura 15 Actuador electromecánico LINAK LA44 [36]

Carrera máxima de trabajo: 368 mm

Capacidad: 12 kN

Peso del producto: 10 kgf

Velocidad máxima: 8.6 mm/s

- **Actuador electromecánico MMAC300 [37].**



Figura 16 Actuador electromecánico MMAC300 [37].

Carrera máxima de trabajo: 300 mm

Capacidad: 100 kgf

Peso del producto: 4 kgf

Velocidad máxima: 20 mm/s $\pm$ 2

4.5 Arnese

Estos tipos de arneses están formados por una pieza de tela de malla de hilo de poliéster recubierta con PVC, ribeteada en toda su periferia y reforzada en las zonas en las que están cosidos los tirantes de cinta de polipropileno. [38]

Los tirantes disponen de varios bucles que permiten colocar al usuario en la posición adecuada para realizar la transferencia, así como variar la posición del mismo con respecto a la barra de suspensión de la grúa.

Los arneses cuentan con asas que facilitan el posicionamiento del usuario en el arnés y permiten además colocar correctamente al usuario en el elemento destino de la transferencia.

Los arneses se diseñan en dos tallas: la talla mediana para personas hasta 90 kg y la talla Grande para persona de 90 kg hasta 250 kg.



Figura 17 Arnés dorso lumbar Ortopedia Lowcost [39].

Aunque la mayoría de las personas se adaptan al arnés que se suministra junto con la grúa de traslado, hay personas que tienen necesidades especiales y que por tanto necesitan arneses adaptados para ellos. También pueden utilizarse como segundo arnés para facilitar el trabajo al cuidador. [40]

- Arnese más grandes para personas con obesidad.
- Arnese con soporte de cabeza para personas que no tienen control en el cuello.
- Arnese tipo hamaca para amputados.
- Arnese de redcilla especiales para ducha y lavado del paciente.
- Arnese envolventes para personas más agitadas.

- Arnés de ajuste rápido para una fácil colocación y para facilitar la higiene íntima o el acceso para los baños.

4.6 Perchas

La percha en conjunto con el arnés forma una unidad funcional. Desde el punto de vista de la seguridad, la percha es muy importante [43], es necesaria una adecuada selección de la misma, esto dependerá de la función específica a la que vaya estar sometida (por ejemplo transportar a un paciente sentado o acostado) y a las condiciones de la persona en cuestión. En la siguiente figura se muestra una percha para movilizar a una persona acostada.



Figura 18 Percha para camilla [41].

El diseño y la geometría de la percha son fundamentales para la postura de sentado del paciente. Generalmente, una barra simétrica proporciona una postura de sentado más reclinada que una barra doble; con una percha más ancha, los brazos del paciente quedan por dentro del arnés. Con una percha más angosta, los brazos del paciente quedan por fuera del arnés [42].



Figura 19 Percha Hill Rom [43].

5. MARCO METODOLÓGICO

Para que el desarrollo del mecanismo tipo grúa móvil para el traslado de pacientes se pueda ejecutar de manera exitosa, es necesario realizar un trabajo conjunto con el grupo de investigación de ingeniería biomédica, de esta manera garantizamos que todos los elementos puedan cumplir con todos los requerimientos sin ningún inconveniente, en la figura 20 se muestra el proceso a seguir, con los puntos como se muestran a continuación.

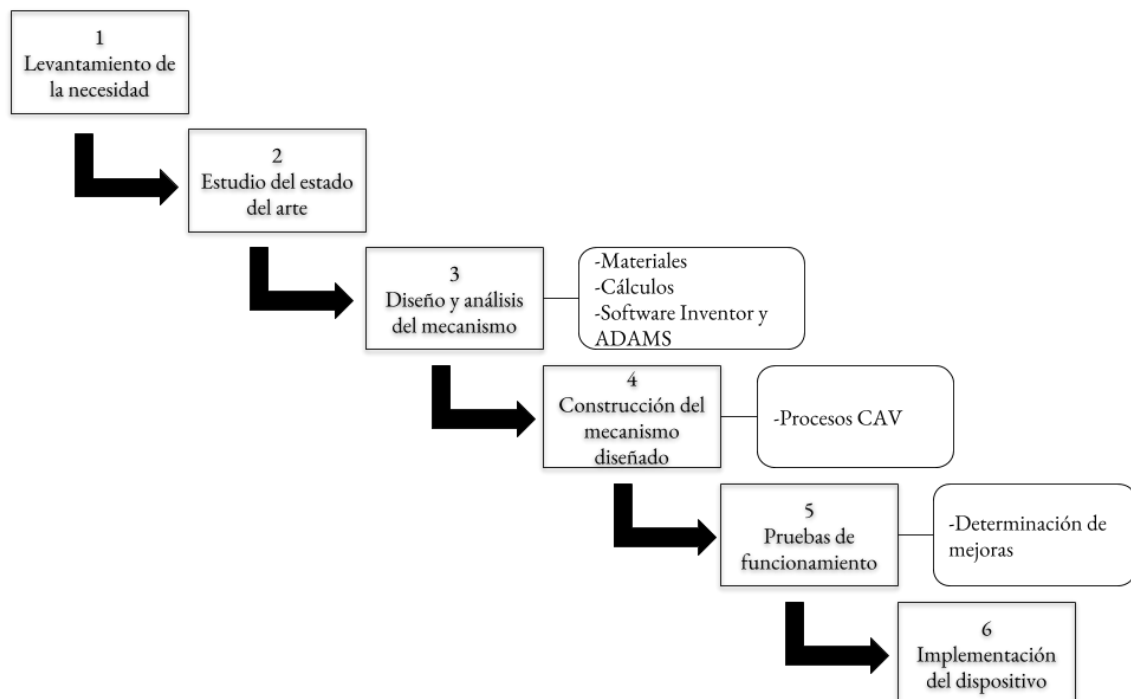


Figura 20 Proceso de diseño, construcción e implementación de una grúa de transferencia para pacientes con discapacidad.

- 1) En primer lugar, se realiza el levantamiento de la necesidad por lo que es importante llevar a cabo un trabajo de campo en la Fundación OSSO, para esto se desarrolla la observación del procedimiento actual para la manipulación de pacientes y se aplica una encuesta al personal que se encarga de esa actividad para de esta forma poder conocer sus necesidades, además se levanta toda la información necesaria y las restricciones tanto arquitectónicas del lugar, como de las personas beneficiarias de este proyecto (peso, talla, entre otros).
- 2) Posteriormente, se realiza el estudio del estado del arte que permitirá identificar el trabajo existente dentro del campo de la MMP, el mismo se encuentra detallado en la sección 4 Fundamentos Teóricos de este documento.

- 3) Para garantizar que el mecanismo cumpla con las condiciones de movimiento establecidas se utiliza el software ADAMS view que permite un análisis cinemático de todo el mecanismo; se procede a dimensionar el mecanismo empleando métodos de cálculo analíticos y el software Autodesk Inventor 2018, este último permitirá analizar bajo el sistema de elementos finitos los elementos que conforman el dispositivo garantizando el dimensionamiento y la selección del material.
- 4) Una vez se encuentre validado el dispositivo, se procede a construir las diferentes partes del mecanismo a través del uso de máquinas y herramientas con técnicas de mecanizado CAV (Torno, fresadora, taladro), es importante recalcar que los materiales a usar se encuentran todos disponibles dentro del mercado local.
- 5) Completado el proceso de construcción de todas las partes de la grúa móvil, se integran en un solo dispositivo y se realizan las pruebas de funcionamiento para poder identificar problemas y establecer las mejoras necesarias con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.
- 6) Al terminar con las pruebas que validen la grúa móvil para pacientes discapacitados, se procede a implementarla dentro de la fundación OSSO en donde serán usadas en beneficio de sus pacientes y colaboradores.

5.1 Levantamiento de la necesidad.

Para el levantamiento de la necesidad fue necesario realizar un trabajo de campo, el mismo que inició con la observación de la situación actual de la fundación y del procedimiento que se utilizaba para el traslado de pacientes, luego se obtuvo las restricciones arquitectónicas de las instalaciones, por último se toman los datos de peso, talla y afecciones de los pacientes quienes serán los beneficiarios del proyecto.

5.1.1 Universo de trabajo y obtención de datos.

La fundación OSSO cuenta con 12 colaboradores quienes se encargan de las labores de cuidado, traslado y manipulación de los pacientes que se encuentran en el lugar, para poder conocer de manera general y puntual algunos aspectos como probabilidad de accidentes al realizar las labores mencionadas, la molestia física generada y la importancia del tiempo necesario para realizar estos trabajos, se realizó la siguiente encuesta.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

LA PRESENTE ENCUESTA SIRVE PARA OBTENER DATOS PARA EL PROYECTO DE TITULACIÓN PARA LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LA CUAL SERÁ UTILIZADA ÚNICAMENTE CON FINES ACADÉMICOS, POR ESE MOTIVO LE PEDIMOS DE LA MANERA MÁS COMEDIDA POSIBLE NOS AYUDE LLENANDO LAS SIGUIENTES PREGUNTAS. DE ANTEMANO LE AGRADECEMOS POR SU COLABORACIÓN:

1. En base a su experiencia indique que tan probable es que se produzca un accidente al momento de movilizar a los usuarios en distintas actividades (aseo, recreación, fisioterapia).

Marque con una **X** según su criterio:

Muy probable	
Probable	
Medianamente probable	
Poco probable	
No es probable	

2. El tener que cargar a los usuarios para transportarlos de un lugar a otro le a causado alguna molestia física:

SI ☐

NO ☐

Si su respuesta es **sí** coloque en orden de importancia identificando como el 1 el menos importante y 3 el más importante:

	IMPORTANCIA		
	1	2	3
Dolor de brazos			
Dolor de piernas			
Dolor de espalda			
Otro			

Otro, especifique:

.....
.....

3. ¿El tiempo que usted utiliza en el aseo de los pacientes puede ser modificado?

SI ☐

NO ☐

Es importante recalcar que la encuesta presentada anteriormente, se la aplicó al primer turno de trabajadoras que laboran en la fundación, es decir, se encuestó a un total de 6 personas, la tabulación de los resultados se presentan a continuación.

La pregunta 1 hace referencia a la probabilidad de que se produzca un accidente al momento de trasladar y manipular a los pacientes, el 67% de la población encuestada respondió en base a su experiencia que es muy probable que se produzca un accidente mientras que el 17% y 16% respondió que es probable y medianamente probable respectivamente. La figura 21 muestra en un gráfico de pastel los resultados obtenidos en esta pregunta.

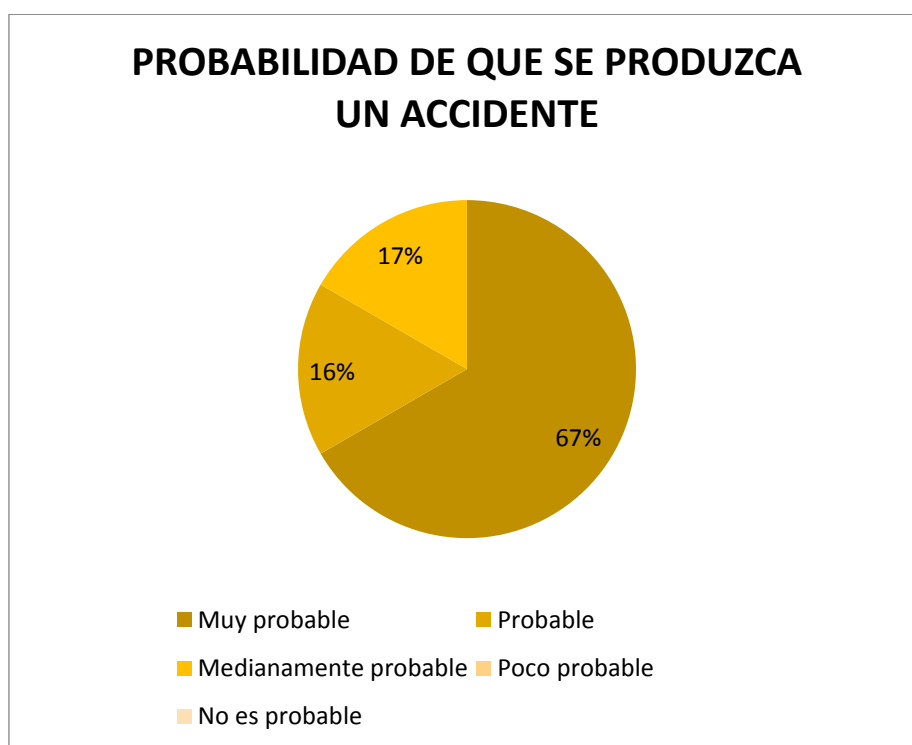


Figura 21 Probabilidad de accidentes.

Con los datos antes obtenidos se puede decir que existe un alto índice de probabilidad de accidentes para el paciente con el proceso actual de manipulación y traslado.

Por otro lado, la pregunta 2 hace referencia a la probabilidad de que se presenten dolencias físicas que resulten de las actividades de movilizar a los pacientes, sus distintos tipos y la importancia que se le da a cada una de ellas; en la figura 22 se observa que el 100% de los encuestados responden que si existe la probabilidad de presentarse molestias

físicas, además, la figura 23 muestra que el dolor de espalda con el 35% es la molestia que se presenta con mayor probabilidad, seguido del dolor de piernas con el 29%.

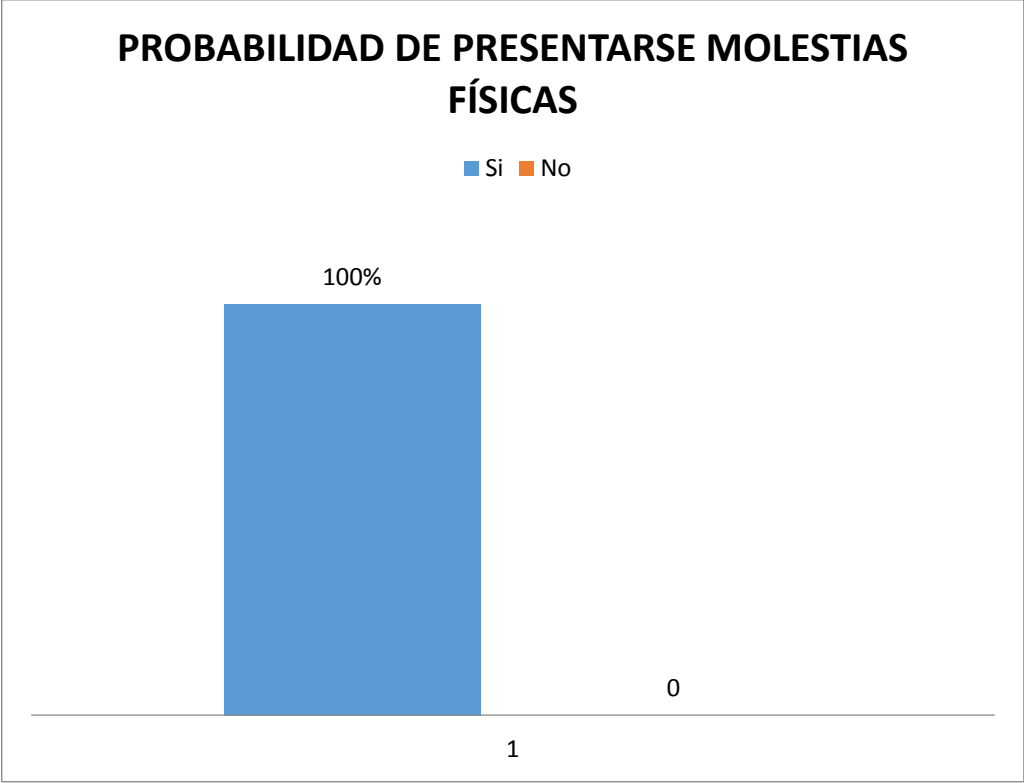


Figura 22 Probabilidad de presentarse molestias físicas.

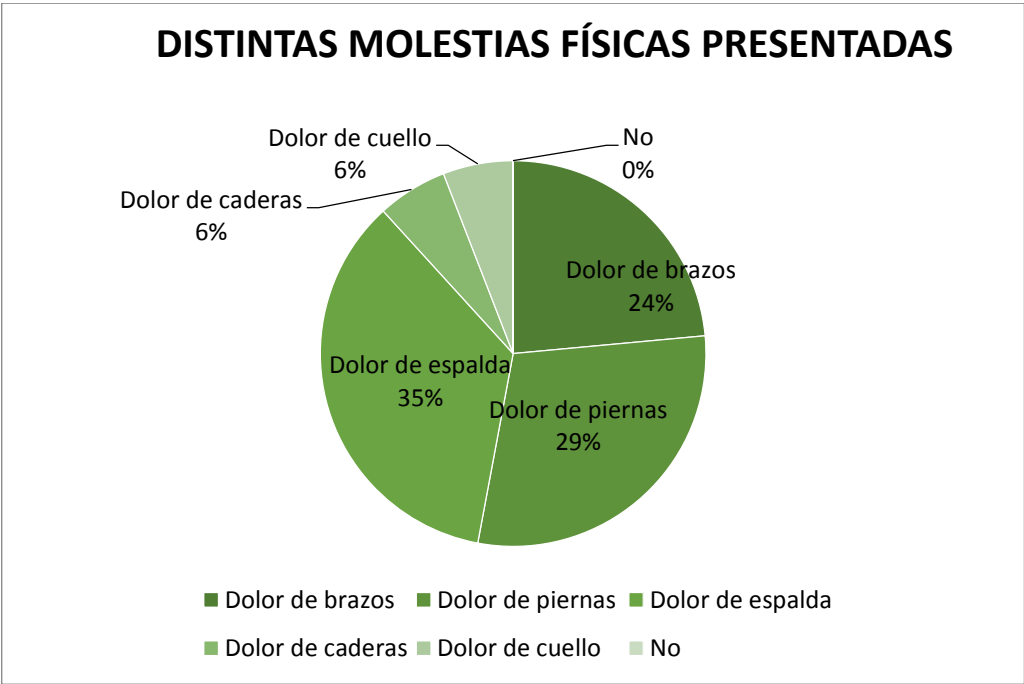


Figura 23 Distintas molestias físicas presentadas

Los datos obtenidos con la pregunta 2 indican que las personas encargadas del traslado y manipulación de los pacientes presentan molestias físicas, siendo el dolor de espalda y el dolor de piernas las molestias que más afectan a estas personas.

La pregunta 3 por su parte, se refiere a la importancia que tiene el tiempo de traslado y aseo de los pacientes, el resultado se muestra en la figura 24.

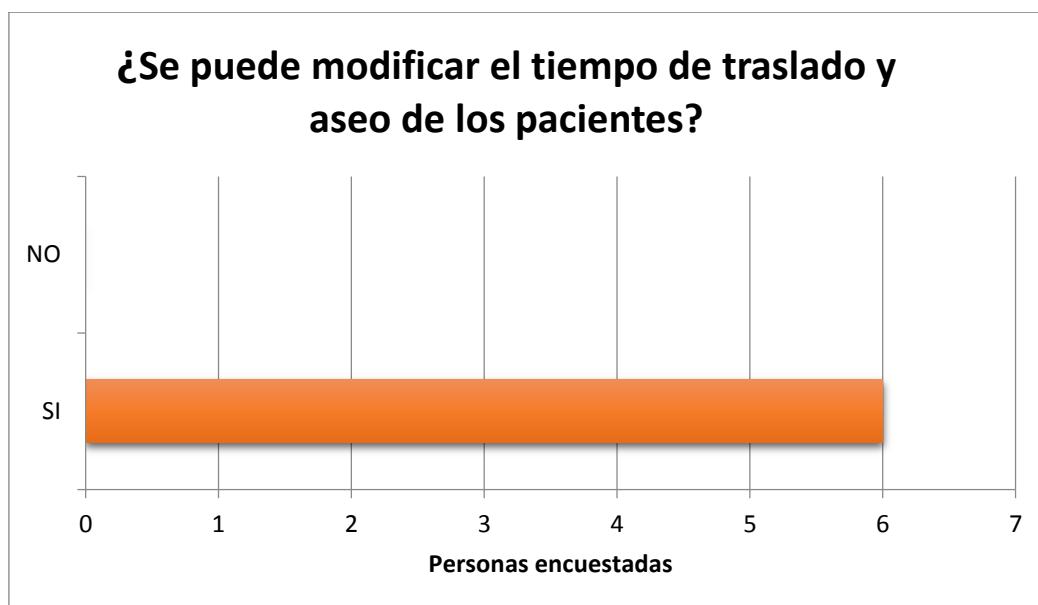


Figura 24 Modificación del tiempo de traslado y aseo.

De lo anterior, se observa que el 100% de los encuestados coincide en que no hay ningún inconveniente en que se modifiquen los tiempos de traslado y aseo de los pacientes, esto es importante ya que el uso de un dispositivo que ayude en esta labor podría retrasar o adelantar los tiempos de ejecución de esta tarea.

Una vez analizada la información obtenida a partir de la encuesta es necesario adquirir los datos de los pacientes quienes serán los beneficiarios directos del proyecto y de quienes se obtendrán algunas condiciones de diseño. En la siguiente tabla se muestran los pesos, tallas y afecciones que tienen los pacientes.

Tabla 3 Pesos, tallas y discapacidades de los pacientes de la fundación OSSO [7].

Paciente	Peso	Talla	Tipo de Discapacidad	Porcentaje de Discapacidad	Grado de discapacidad
1	18.8 kgf	1.04 m	Psicosocial.	72%	Grave. Dependencia leve.
2	28.5 kgf	1.16 m	Intelectual.	81%	Muy Grave. Dependencia Leve
3	17.7 kgf	1.21 m	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
4	50.0 kgf	1.45 m	Física.	90%	Grave. Total Dependencia.
5	37.7 kgf	1.42 m	Física.	90%	Muy Grave. Total Dependencia.
6	48.9 kgf	1.31 m	Física.	85%	Muy Grave. Total Dependencia.
7	20.5 kgf	1.15 m	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
8	36.6 kgf	1.31 m	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
9	18.1 kgf	1.09 m	Física.	81%	Muy Grave. Total Dependencia.
10	21.1 kgf	1.19 m	Intelectual.	84%	Muy Grave. Total Dependencia.
11	44.2 kgf	1.39 m	Física.	90%	Muy Grave. Dependencia Moderada
12	38.6 kgf	1.47 m	Física.	85%	Muy Grave. Total Dependencia.
13	46.9 kgf	1.31 m	Física.	90%	Muy Grave. Total Dependencia.
14	23.0 kgf	1.23 m	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
15	25.1 kgf	1.47 m	Intelectual	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
16	45.9 kgf	1.45 m	Física.	75%	Muy Grave. Dependencia Moderada
17	74.5 kgf	1.80 m	Psicosocial	85%	Muy Grave. Dependencia Grave.
18	47.7 kgf	1.39 m	Física.	85%	Muy Grave. Dependencia Grave.
19	52.6 kgf	1.42 m	Física.	75%	Muy Grave. Dependencia Leve
20	34.5 kgf	1.30 m	Intelectual	60%	Grave. Total Independencia
21	24.5 kgf	1.23 m	Intelectual	84%	Muy Grave. Total Dependencia.

De la tabla anterior se puede observar que el peso máximo de las personas con discapacidad física y dependencia total o grave es de 50kgf, sin embargo es importante pensar que el peso máximo de todos los pacientes es de 74.5kgf y que ésta persona a futuro podría ser un posible usuario del dispositivo mecánico, por lo que se considera este último peso máximo de los pacientes para todos los análisis posteriores.

Otro de los factores importantes a tener en cuenta son las restricciones arquitectónicas que presenta la edificación de la fundación OSSO, estas se presentan sobre todo en la zona de las habitaciones, ya que para poder ingresar por las mismas es necesario pasar por un corredor cuyo ancho es de 0.8 m mientras que las puertas de ingreso a las habitaciones son de 0.9 m, esta situación se muestra en la siguiente figura.

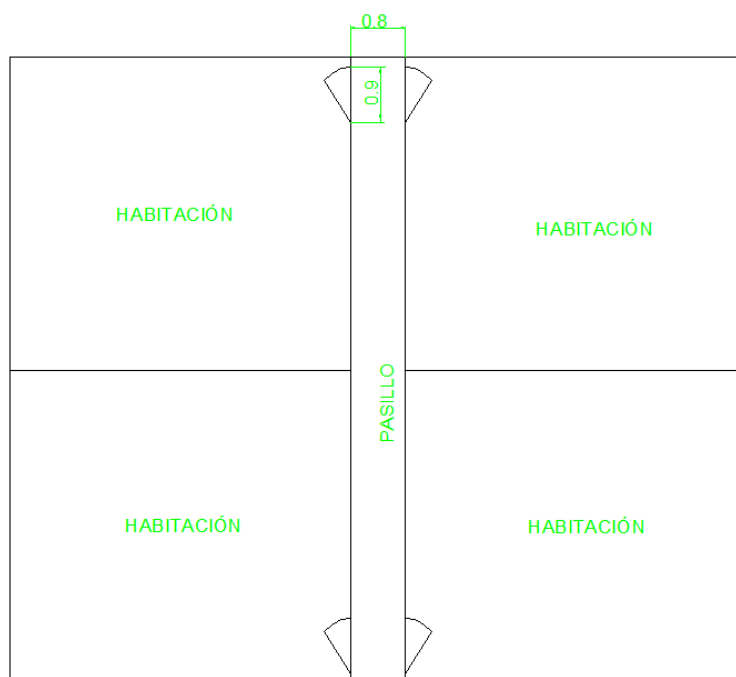


Figura 25 Distribución de las habitaciones y pasillo.

5.2 Diseño de la grúa de transferencia.

Para el diseño de la grúa de transferencia móvil se considera en una primera instancia todas las relaciones de equilibrio tomando en cuenta las fuerzas que actúan en el mecanismo, los esfuerzos a los que está sometido, y relaciones constitutivas propias del material a utilizar.

La simulación en software 3D (Autodesk Inventor y ADAMS), nos permite corroborar la veracidad de los datos calculados analíticamente, es importante acotar que los datos más importantes a utilizar son las restricciones longitudinales de la grúa y el

peso máximo de la persona, estos datos se utilizarán tanto para el cálculo analítico como para la simulación, los mismos se muestran a continuación.

- Peso máximo (W): 120kgf
- Longitud máxima entre la base de la grúa y las ruedas delanteras: 1 m
- Altura máxima a alcanzar: 1.80 m
- El factor de seguridad sugerido será de $FS=2$ [44]

El esquema de la grúa y sus partes se presentan en la figura 26, es importante recalcar que se pondrá más énfasis en las partes más críticas del mecanismo como el actuador y el brazo móvil superior debido al esfuerzo a los que están sometidos.

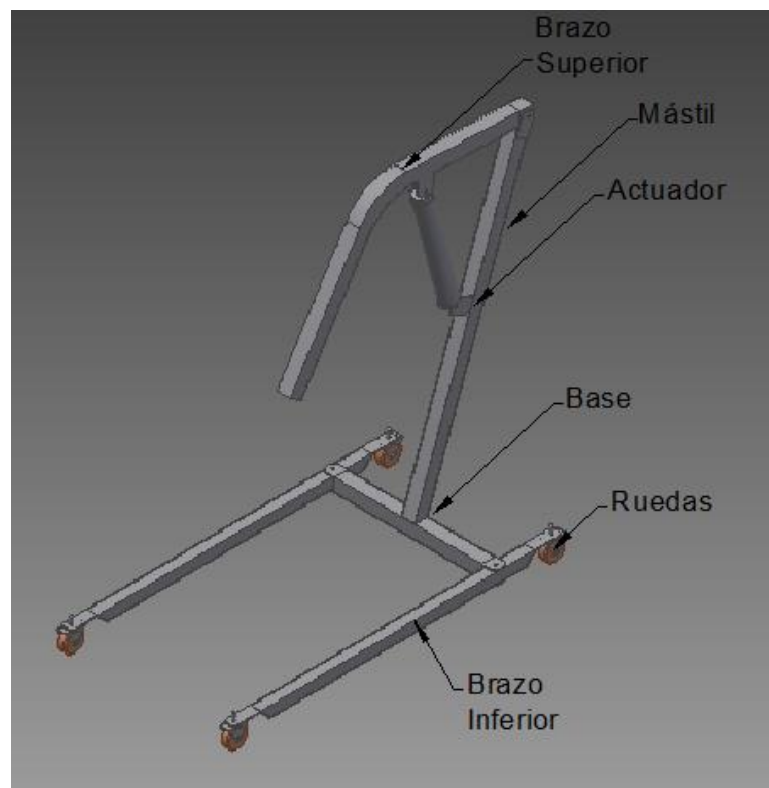


Figura 26 Esquema 3D de la grúa de transferencia

Antes de proceder con el dimensionamiento, se realiza el primer análisis cinemático de la grúa, el mismo que nos ayuda a comprobar si la misma es capaz de levantar el peso máximo propuesto de 120kgf, de esta manera se simula en ADAMS view el desplazamiento del brazo superior.

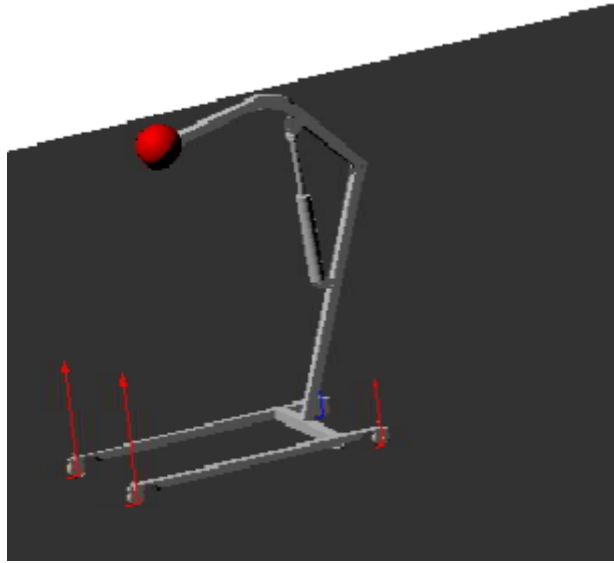


Figura 27 Simulación de la grúa sometida a cargas en ADAMS view.

La figura 28 nos muestra el desplazamiento del vástago soportando una carga de 120kgf, de la misma se puede concluir que el brazo superior es capaz de alcanzar un desplazamiento de 300mm desde la posición de reposo en un tiempo de 57 segundos por lo que el diseño propuesto garantiza que se podrá elevar el cuerpo.

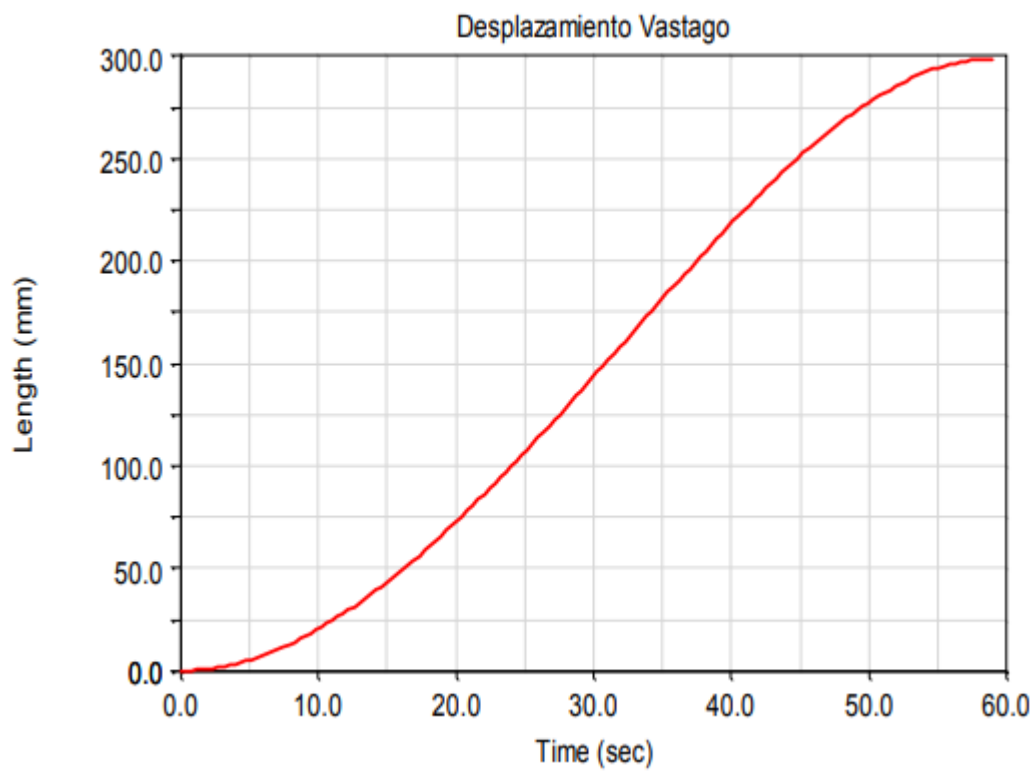


Figura 28 Desplazamiento vs Tiempo - Vástago

Para el dimensionamiento de los elementos estructurales el material a utilizar corresponde a acero que cumple con las normas ASTM A500 (para perfiles estructurales) [48] y ASTM A36 (para platinas) [49], para lo cual el esfuerzo de fluencia será $\sigma_y = 320 \text{ MPa}$ y $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$ respectivamente, dichos valores se utilizan para calcular el esfuerzo permisible σ_{perm} , que a su vez es el esfuerzo de fluencia afectado por el factor de seguridad.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{FS} \quad (1)$$

Antes de iniciar con el cálculo de dimensiones de los elementos en cuestión, necesitamos conocer el valor del esfuerzo permisible por lo que aplicando la ecuación 1 y reemplazando valores tenemos:

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= \frac{320 \text{ MPa}}{2} \\ \sigma_{perm} &= 160 \text{ MPa} \rightarrow \text{para perfiles} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{perm} &= \frac{250 \text{ MPa}}{2} \\ \sigma_{perm} &= 125 \text{ MPa} \rightarrow \text{para platinas} \end{aligned}$$

5.2.1 Dimensionamiento de los elementos.

Para el dimensionamiento de los elementos de la grúa es necesario conocer de manera general las cargas y momentos, tanto flectores como torsionales, a los que van a estar sometidos cada uno de ellos, en la figura 29 se muestra un esquema general de la grúa con cargas y momentos.

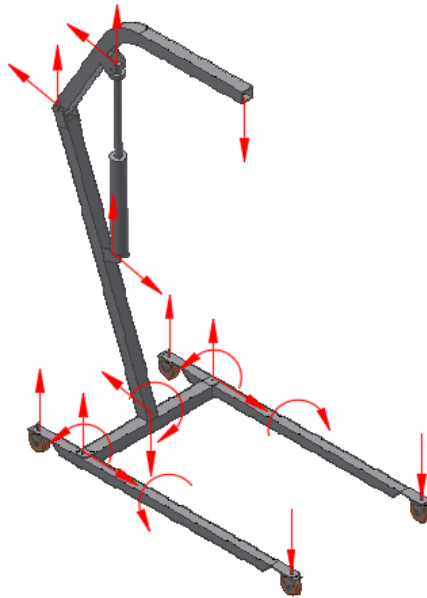


Figura 29 Esquema general de la grúa con cargas y momentos.

- **Dimensionamiento del brazo superior y mástil.**

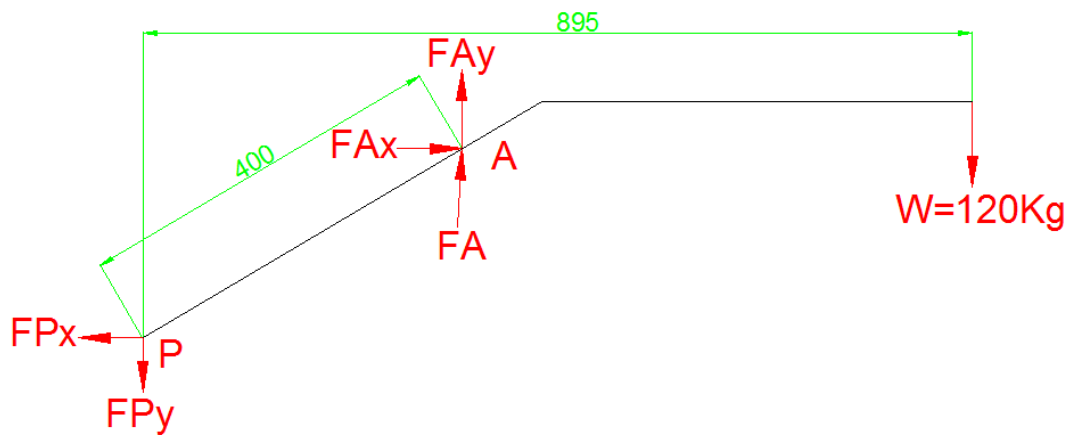


Figura 30 Diagrama de cuerpo libre - Brazo superior

Para realizar el análisis estático del elemento es importante tener en cuenta que se lo hará en la posición más desfavorable, en este caso será con el peso levantado y el vástago del actuador completamente extendido, teniendo esto claro se inicia el cálculo con la sumatoria de momentos con respecto al punto P, de esta manera se halla el valor de la fuerza F_A .

$$+\curvearrowright \sum M_p = 0 \quad (2)$$

$$FAy(298.89mm) - FAx(256.83mm) - 1172N(897mm) = 0$$

$$FA * \sin(85.48)(298.89mm) - FA * \cos(85.48)(256.83mm) - 1177.2N(897mm) = 0$$

$$297.96mm * FA - 20.949mm * FA = 1055948.4Nmm$$

$$FA = 3811.94N$$

Una vez encontrada la fuerza FA, se realiza una sumatoria de fuerzas con respecto al eje Y y X para hallar FPY y FPX respectivamente.

$$+\uparrow \sum Fy = 0 \quad (3)$$

$$-FPy + FAy - W = 0$$

$$-FPy + FA * \sin(85.48) - 1177.2N = 0$$

$$-FPy + 3800.08N - 1177.2N = 0$$

$$FPy = 2622.884N$$

$$+\rightarrow \sum Fx = 0 \quad (4)$$

$$-FPx + FAx = 0$$

$$-FPx + FA * \cos(85.48) = 0$$

$$FPx = 300.408N$$

Una vez calculadas todas las fuerzas que actúan sobre el brazo superior, se grafica el diagrama de corte y momento.

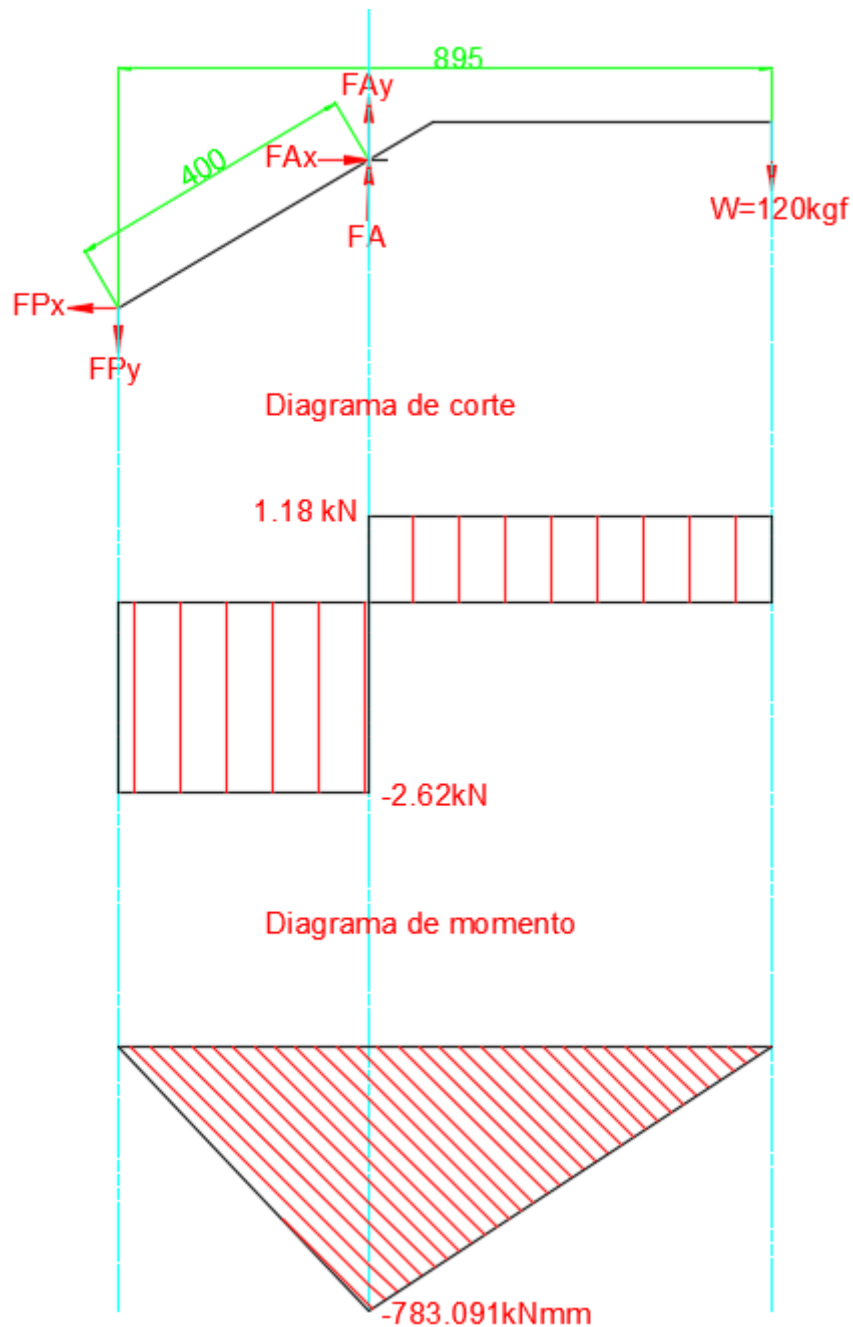


Figura 31 Diagramas de corte y momento - Brazo superior

Del diagrama anterior, se puede hallar la ecuación del momento flector que se produce en el brazo superior que queda de la siguiente manera para valores de x entre $0.344m \leq x \leq 895m$.

$$M(x) = 0.00142x - 783.09 \quad (5)$$

Una vez hallado el momento máximo producido, se calcula el módulo de sección mínimo requerido, que es la relación entre el momento máximo y el esfuerzo permisible σ_{perm} .

$$S_{min} = \frac{M}{\sigma_{perm}} \quad (6)$$

$$S_{min} = \frac{783.091 \text{ KNmm}}{160 \text{ MPa}}$$

$$S_{min} = 4.8943 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \rightarrow 4.8943 \text{ cm}^3$$

De darse el caso en que la tabla normalizada no presente un valor de módulo de sección S para poder seleccionar el material adecuado, será necesario aplicar la relación existente entre la inercia I del material con la distancia máxima desde el eje neutro hasta la superficie superior o inferior del elemento c .

$$S = \frac{I}{c} \quad (7)$$

La siguiente figura muestra el diagrama de cuerpo libre del mástil, se debe rescatar que las fuerzas halladas en este análisis nos servirán posteriormente para el dimensionamiento de la base y los brazos inferiores.

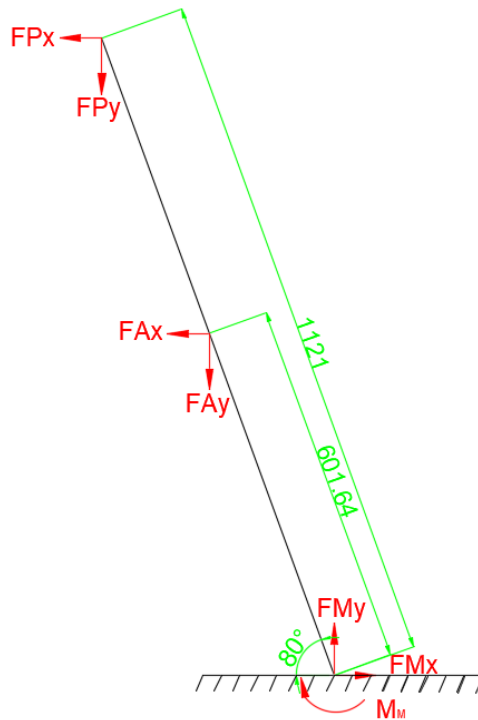


Figura 32 Diagrama de cuerpo libre - Mástil

Realizamos sumatoria de fuerzas en el eje Y y X, de esta manera se hallan las fuerzas resultantes FMY y FMX respectivamente, dichas fuerzas servirán para poder analizar posteriormente también la base del mecanismo; además, se realiza una sumatoria de momentos para hallar el momento M_M , el mismo que dado a que se encuentra en el

empotramiento representa el momento máximo y nos servirá para dimensionar el elemento.

$$\begin{aligned}
 +\rightarrow \sum Fx &= 0 \\
 -FAx - FPx + FMx &= 0 \\
 FMx &= 600.816N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum Fy &= 0 \\
 -FPy - FAy + FMy &= 0 \\
 -2622.884N - 3800.08N + FMy &= 0 \\
 FMy &= 6422.964N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 +\cup \sum MP &= 0 \\
 -FAx * d1 - FAy * d2 + M_M + FMx * d3 + FMy * d4 &= 0 \\
 (-53643.86 - 1853299.02 + M_M + 2468601.98 + 632899.57)Nmm &= 0 \\
 M_M &= -1194558.69Nmm \\
 \cup M_M &= 1194.56Nm
 \end{aligned}$$

Con este momento procedemos a calcular el módulo de sección mínimo requerido para este elemento.

$$\begin{aligned}
 S_{min} &= \frac{M}{\sigma_{perm}} \\
 S_{min} &= \frac{1194.56Nm}{160MPa} \\
 S_{min} &= 7.466 \times 10^{-6} m^3 \rightarrow 7.466 cm^3
 \end{aligned}$$

- **Dimensionamiento de la Base**

Los extremos de la base se encuentran sujetos mediante pasadores, esto provoca que se produzca un doble empotramiento, además, el momento flector M_M que se encuentra presente en el mástil se convierte en un momento de torsión en la base, lo dicho anteriormente se muestra en el siguiente diagrama de cuerpo libre.

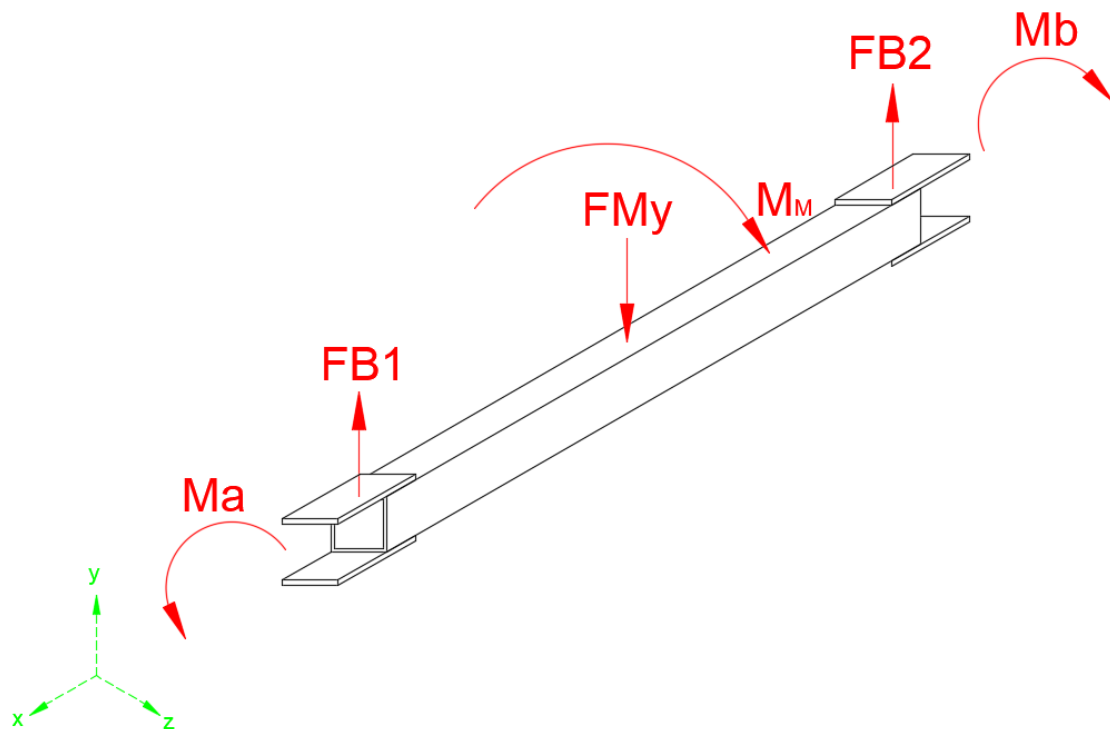


Figura 33 Diagrama de cuerpo libre 3D – Base

El dimensionamiento de este elemento se hará mediante una comparación entre el momento de torsión M_M y el momento máximo producido en el plano x-y, con el momento máximo del sistema se calcula el módulo de sección mínimo requerido.

Para el análisis estático de la base en el plano x-y, se debe tener en cuenta que $FB_1 = FB_2$ debido a que la fuerza F_{My} se encuentra en el centro del sistema mostrado, y que $M_a = M_b$ y estos serán los momentos máximos en este plano; teniendo en cuenta lo anterior se aplica fórmulas de resolución de vigas hiperestáticas con doble empotramiento.

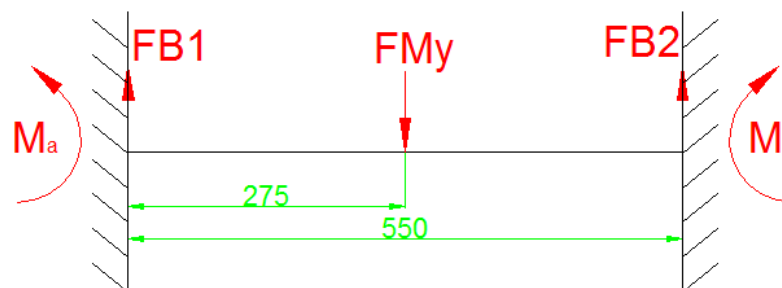


Figura 34 Diagrama de cuerpo libre x-y – Base

$$Ma = Mb = \frac{FMy * L}{8} \quad (8)[45]$$

$$Ma = Mb = \frac{6422.964N * 550mm}{8}$$

$$Ma = Mb = 441578.78Nmm \rightarrow 441.579Nm$$

Una vez que se halla el valor del momento máximo en el plano x-y, se realiza la comparación con el momento de torsión, para de esta manera poder dimensionar el elemento.

$$M_M > M_a$$

$$S_{min} = \frac{M_M}{\sigma_{perm}} \quad (9)$$

$$S_{min} = \frac{1194.56Nm}{160MPa}$$

$$S_{min} = 7.466 \times 10^{-6} m^3 \rightarrow 7.466 cm^3$$

- **Dimensionamiento del brazo inferior.**

De la misma forma que la base, el brazo inferior también se ve afectado por momentos de torsión y momentos de flexión, es importante acotar que el momento flector M_a y el momento de torsión M_M de la base se convierten en momentos de torsión y flexión respectivamente en el brazo inferior; esto se muestra en el siguiente diagrama.

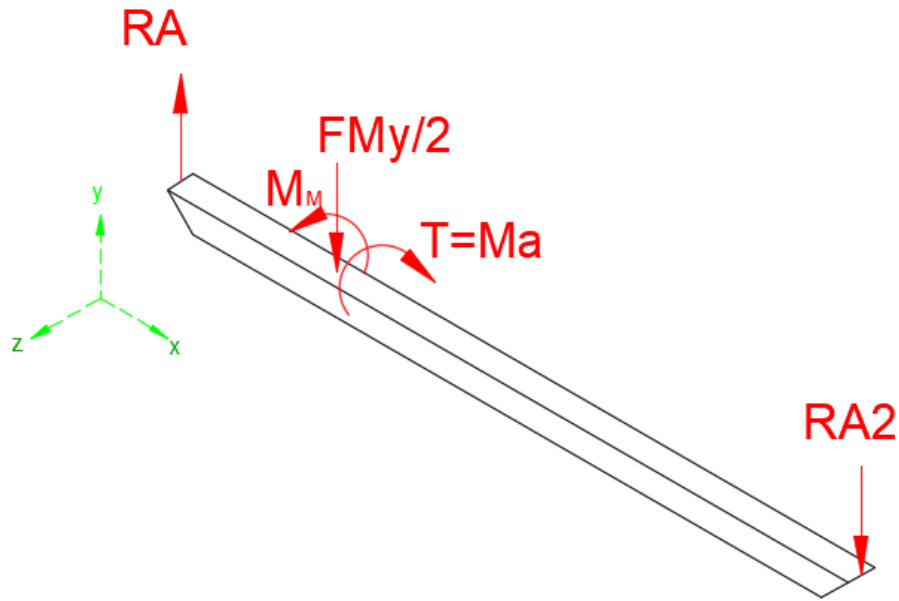


Figura 35 Diagrama de cuerpo libre 3D - Brazo Inferior

Se realiza el análisis estático del elemento en el plano x-y, de esta manera se hallan las fuerzas de reacción, y mediante los diagramas de corte y momento se halla el momento máximo presente.

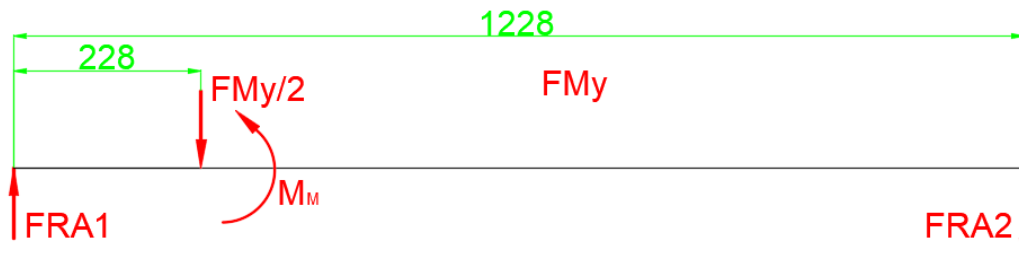


Figura 36 Diagrama de cuerpo libre - Brazo inferior

Primero es necesario hallar el valor de las reacciones, por tanto se aplica la relación de equilibrio de momentos con respecto a F_{RA2} , posteriormente se calcula la sumatoria de fuerzas con respecto al eje Y para hallar F_{RA1} .

$$+\circlearrowleft \sum M_{RA2} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{FMy}{2}(1m) + M_M - F_{RA1}(1.228m) = 0$$

$$3211.482N(1m) + 1194.56Nm - F_{RA1}(1.228m) = 0$$

$$F_{RA1} = \frac{4406.042Nm}{1.228m}$$

$$F_{RA1} = 3587.982N$$

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum Fy &= 0 \\
 F_{RA1} - \frac{FMy}{2} - F_{RA2} &= 0 \\
 F_{RA2} &= 3587.982N - 3211.482N \\
 F_{RA2} &= 376.5N
 \end{aligned}$$

Se grafica el diagrama de corte y momento para hallar la ecuación del momento flector y el momento máximo existente.

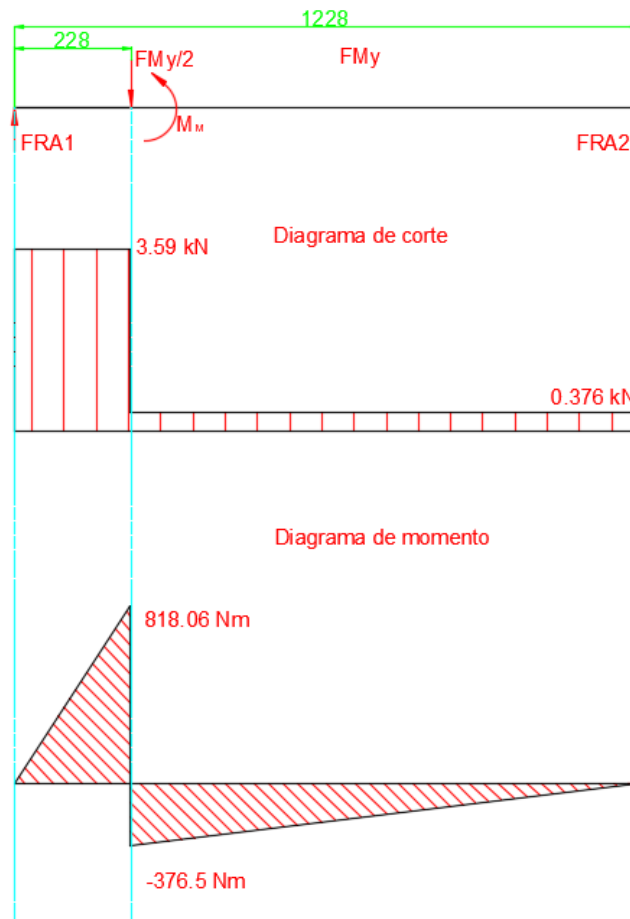


Figura 37 Diagrama de corte y momento - Brazo inferior.

La ecuación del momento flector para valores comprendidos entre $0 \leq x \leq 0.228m$, quedaría de la siguiente manera.

$$M(x) = 3587.98x \quad (11)$$

Y para valores comprendidos entre $0.228\text{m} \leq x \leq 1.228\text{m}$ se tiene la siguiente ecuación.

$$M(x) = 376.5x - 462.342 \quad (12)$$

Se compara el momento de torsión con el momento de flexión para encontrar el momento máximo que permita hallar el módulo de sección mínimo requerido para dimensionar el elemento.

$$M_{BraInf} > M_a$$

$$S_{min} = \frac{M_{BraInf}}{\sigma_{perm}} \quad (13)$$

$$S_{min} = \frac{818.06\text{Nm}}{160\text{MPa}}$$

$$S_{min} = 5.11 \times 10^{-6} \text{m}^3 \rightarrow 5.11 \text{cm}^3$$

- **Dimensionamiento de pasador A.**

El pasador A, será el que se encargue de permitir la unión entre el brazo superior y el actuador, y entre el mástil y el actuador; el diagrama de cuerpo libre de este elemento se muestra en la siguiente figura.

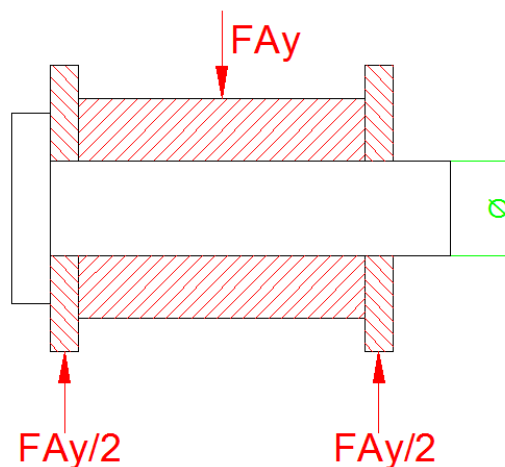


Figura 38 Diagrama de cuerpo libre - Pasador A.

Para el dimensionamiento de este pasador y de todos los siguientes pasadores, se utilizará la norma ASTM A307 (esfuerzo de fluencia $\sigma_y = 414MPa$) ya que los materiales disponibles en el medio cumplen con dicha norma, además, nuestro factor de seguridad para los pasadores es de FS=8; se considera que el esfuerzo normal permisible será igual al esfuerzo cortante permisible.

$$\sigma_{perm} = \tau_{perm} \quad (14)$$

Además se debe tener en cuenta que el esfuerzo permisible es la razón existente entre una carga dada sobre un área, que en este caso para el pasador será el área de un círculo.

$$\sigma_{perm} = \frac{F}{\pi r^2} \quad (15)$$

De esta manera el cálculo para el pasador del brazo superior será el siguiente.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{FAy}{2}}{\pi r^2} \quad (12)$$

$$51.75MPa = \frac{1900.08 N}{\pi r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{1900.08N}{51.75MPa * \pi}}$$

$$r = 0.00341 m$$

$$d = 2 * r = 0.00684m \rightarrow 6.9mm$$

- **Cálculo de pasador B.**

El pasador B será aquel que se encargue de permitir la unión entre el mástil y el brazo superior, la figura 37 presenta el diagrama de cuerpo libre de este pasador.

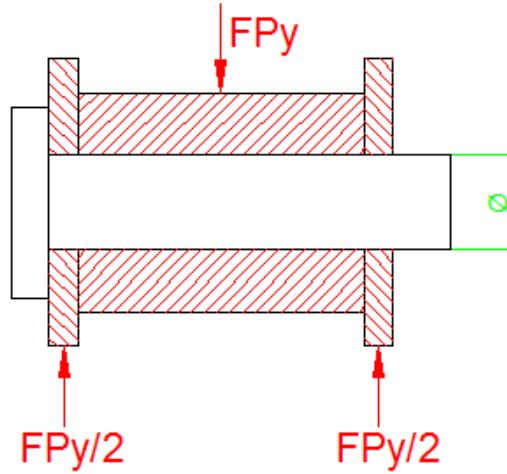


Figura 39 Diagrama de cuerpo libre - Pasador B.

Tomando en cuenta lo establecido en el punto anterior se aplica las fórmulas 10 y 11, así el cálculo se muestra de la siguiente manera.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{FPy}{2}}{\pi r^2} \quad (13)$$

$$51.75MPa = \frac{1311.442 N}{\pi r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{1311.442N}{51.75MPa * \pi}}$$

$$r = 0.00284 m$$

$$d = 2 * r = 0.00568m \rightarrow 5.69mm$$

- **Cálculo de pasador C.**

Se aplica las fórmulas 10 y 11 para el cálculo del pasador C, el diagrama de cuerpo libre de este elemento se muestra a continuación.

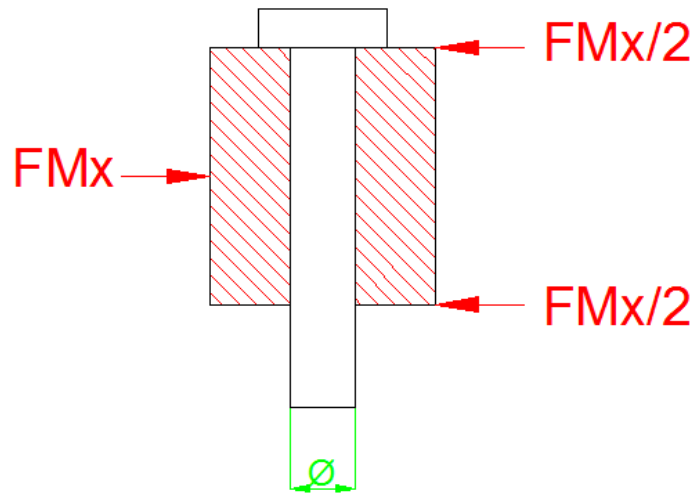


Figura 40 Diagrama de cuerpo libre - Pasador B.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{FMx}{2}}{\pi r^2} \quad (14)$$

$$51.75MPa = \frac{300.408 N}{\pi r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{300.408N}{51.75MPa * \pi}}$$

$$r = 0.00135 m$$

$$d = 2 * r = 0.00271m \rightarrow 2.71mm$$

- **Cálculo de pasador D.**

El pasador D es el que soportará todo el peso vertical de la persona, es decir es en donde se colocará la percha que ayuda a la sujeción del paciente.

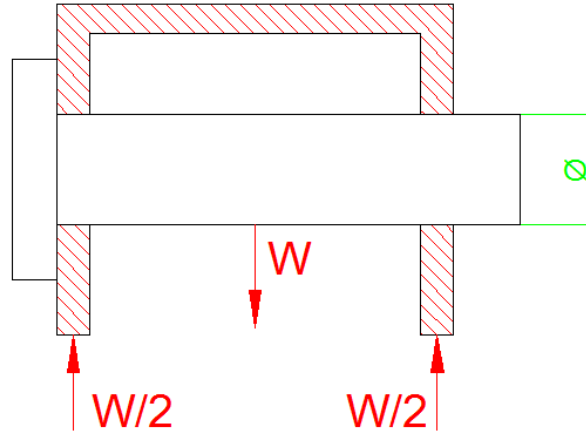


Figura 41 Diagrama de cuerpo libre - Pasador D.

El dimensionamiento del pasador quedaría de la siguiente manera.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{W}{2}}{\pi r^2} \quad (15)$$

$$51.75MPa = \frac{1177.2 N}{\pi r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{1177.2N}{51.75MPa * \pi}}$$

$$r = 0.00269 m$$

$$d = 2 * r = 0.00538m \rightarrow 5.38mm$$

- **Dimensionamiento de elementos de soporte para pasador A.**

Para el caso de los elementos que servirán de apoyo para los distintos pasadores, se considera el área de un rectángulo, para esto se utiliza los diámetros calculados anteriormente, por lo que es necesario encontrar el espesor con el cual se pueda garantizar que los refuerzos colocados trabajen sin ningún problema. Para esta consideración la fórmula del esfuerzo permisible quedaría de la siguiente forma.

$$\sigma_{perm} = \frac{F}{d * e} \quad (16)$$

El diagrama de cuerpo libre del elemento en cuestión se muestra en la figura 40.

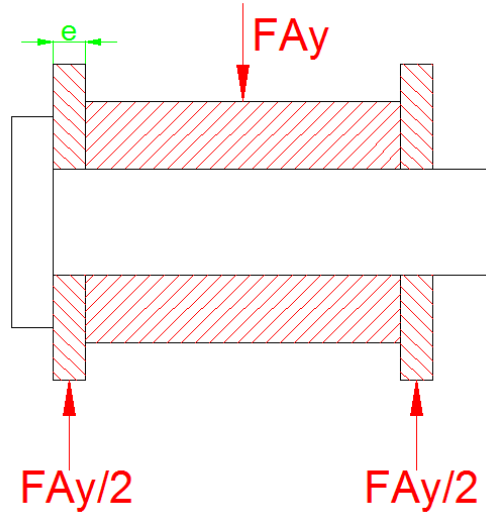


Figura 42 Diagrama de cuerpo libre - Soporte para pasador A.

El desarrollo del cálculo para hallar el espesor de la platina se presenta a continuación.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{FAy}{2}}{d * h} \quad (17)$$

$$125MPa = \frac{1900.08N}{e * 3.9mm}$$

$$e = 0.0039m \rightarrow 3.9 \text{ mm}$$

- Dimensionamiento de elementos de soporte para el pasador B.

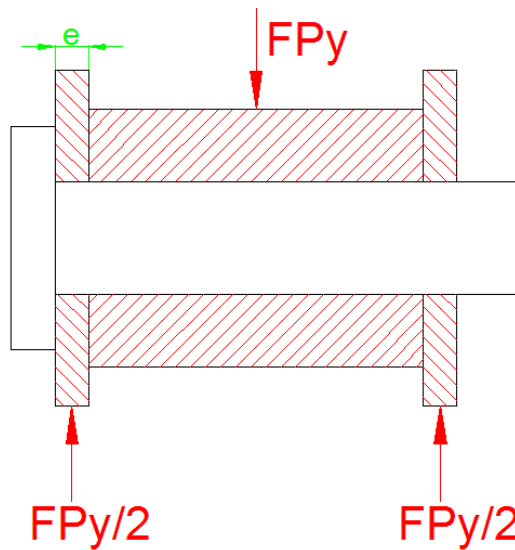


Figura 43 Diagrama de cuerpo libre - Soporte para pasador B.

De la misma manera, para el cálculo del espesor para el refuerzo del pasador B se considera el uso del pasador B calculado anteriormente, de esta forma el cálculo se muestra como sigue.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{FPy}{2}}{e * d} \quad (18)$$

$$125MPa = \frac{1311.442N}{e * 3.23mm}$$

$$e = 0.00324m \rightarrow 3.24 \text{ mm}$$

- **Dimensionamiento de elementos de refuerzo para pasador D.**

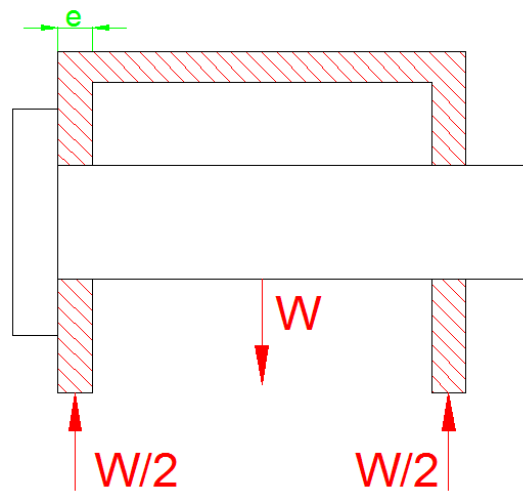


Figura 44 Diagrama de cuerpo libre - Soporte para pasador D.

Para el cálculo del soporte para el pasador de la percha una vez más se considera el peso de la persona, el mismo se muestra a continuación.

$$\tau_{perm} = \frac{\frac{W}{2}}{e * d} \quad (19)$$

$$125MPa = \frac{588.6N}{e * 3.06 \text{ mm}}$$

$$e = 0.00153m \rightarrow 1.53 \text{ mm}$$

5.2.2 Deflexiones de los elementos.

El cálculo de las deflexiones se realiza con las ecuaciones de momento halladas en pasos anteriores, es importante decir que se considerará un módulo de elasticidad para el acero $E=200\text{GPa}$, además la inercia dependerá del material a utilizar.

- **Cálculo de deflexión del Brazo superior.**

Según el módulo de sección hallado se puede considerar que para este elemento se utiliza un tubo estructural cuadrado de $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ de espesor $e=2\text{mm}$ con módulo de sección de $S=5.652\text{cm}^3$, la inercia de este elemento es $I = 14.13\text{cm}^4$.

Las condiciones de frontera que se presentan son:

$$1) x = 0.344\text{m}, y(x) = 0$$

$$2) x = 0.895\text{m}, \theta(x) = 0$$

Integrando la ecuación del momento se encuentra la ecuación de la flecha.

$$EI\theta(x) = \int 0.00142x - 783.09 \, dx$$

$$EI\theta(x) = 710 \times 10^{-6} x^2 - 783.09x + C1 \quad (20)$$

Cuando se reemplaza la segunda condición se determina primera constante $C1$ que modificará la ecuación de la flecha.

$$EI\theta(0.895) = 710 \times 10^{-6} (0.895)^2 - 783.09(0.895) + C1 = 0$$

$$C1 = -568.727$$

Por lo tanto reemplazando $C1$ la ecuación se modifica como se muestra a continuación.

$$EI\theta(x) = 710 \times 10^{-6} x^2 - 783.09x - 568.727 \quad (21)$$

Integrando la ecuación de la pendiente se encuentra la ecuación de la deflexión.

$$EIy(x) = \int 710 \times 10^{-6} x^2 - 783.09x - 568.727 \, dx$$

$$EIy(x) = 236.66 \times 10^{-6} x^3 - 391.545x^2 - 568.727x + C2$$

Para este caso $EI = 28260 \text{ Pa m}^4$, reemplazando en la ecuación anterior, la deflexión se presenta de la siguiente forma.

$$y(x) = 8.374 \times 10^{-9} x^3 - 13.855 \times 10^{-3} x^2 - 20.124 \times 10^{-3} x + C2 \quad (22)$$

Reemplazando la primera condición

$$y(0.344) = 8.374 \times 10^{-9} (0.344)^3 - 13.855 \times 10^{-3} (0.344)^2 - 20.124 \times 10^{-3} (0.344) + C2$$

$$C2 = 8.562 \times 10^{-3}$$

La ecuación de la deflexión queda de la siguiente manera:

$$y(x) = 8.374 \times 10^{-9} x^3 - 13.855 \times 10^{-3} x^2 - 20.124 \times 10^{-3} x + 8.562 \times 10^{-3} \quad (23)$$

Para valores de $x=0.895$, se encuentra la deflexión máxima.

$$y(0) = -0.00856 \text{ m} \rightarrow 8.5 \text{ mm} \downarrow$$

- **Cálculo de deflexión de la base.**

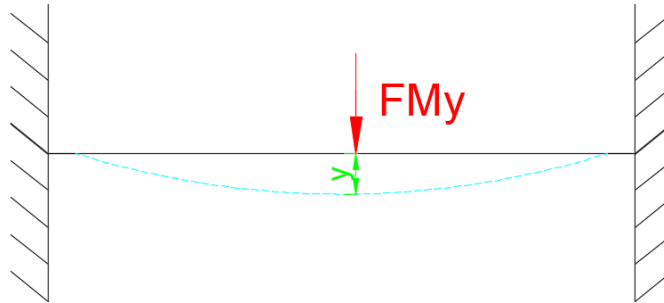


Figura 45 Esquema de deflexión - Base

La deflexión en la base se calcula a partir de tablas de resolución de vigas hiperestáticas con doble empotramiento, la fórmula se muestra a continuación.

En este caso, se utilizará para el análisis un tubo estructural de 50mmx50mm, $e=3\text{mm}$ con $EI=42400 \text{ Pa m}^4$

$$y(x) = \frac{-FMy * L * x^2}{48 EI} \left(3 - \frac{4 * x}{L} \right) \quad (24)[45][50]$$

$$y(0.275) = \frac{-6422.964 \text{ N} * 0.550 \text{ m} * (0.275)^2}{48 * 42400} \left(3 - \frac{4 * 0.275}{0.550} \right)$$

$$y(0.275) = -0.00013 \text{ m} \rightarrow 0.13 \text{ mm} \downarrow$$

- **Cálculo de deflexión del brazo inferior.**

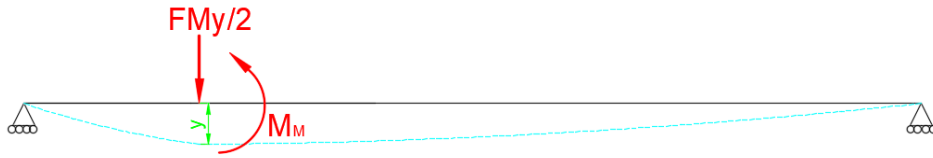


Figura 46 Esquema de deflexión - Brazo inferior.

Para el cálculo de la deflexión del brazo inferior, se considera de acuerdo al módulo de sección hallado que se puede usar un tubo de acero estructural de dimensiones 40mm x 40mm de espesor $e=3\text{mm}$, donde se tiene que la inercia de este material es $I = 5.1\text{cm}^3$, además, teniendo en cuenta que la deflexión máxima se da en $x=0.228\text{m}$ donde la pendiente de la curva elástica es cero, se tienen las siguientes condiciones de frontera:

$$1) x = 0.228, \theta(x) = 0$$

$$2) x = 0, y(x) = 0$$

Integrando la ecuación del momento se encuentra la ecuación de la pendiente.

$$EI\theta(x) = \int M(x) = \int 3587.98x \, dx \quad (25)$$

De esa forma la ecuación de la pendiente se muestra como:

$$EI\theta(x) = 1793.99x^2 + C1 \quad (26)$$

Para este caso $EI = 20400 \text{ Pa m}^4$, se reemplaza en la primera condición.

$$\theta(x) = 87.94 \times 10^{-3} x^2 + C1 = 0$$

$$\theta(0.228) = 87.94 \times 10^{-3} (0.228)^2 + C1 = 0$$

$$C1 = -4.57 \times 10^{-3}$$

Para hallar la ecuación de la deflexión se debe integrar la ecuación de la pendiente, por consiguiente.

$$y(x) = \int \theta(x) = \int 87.94 \times 10^{-3} x^2 - 4.57 \times 10^{-3}$$

$$y(x) = 29.313 \times 10^{-3} x^3 - 4.57 \times 10^{-3} x + C2 \quad (27)$$

Reemplazando la segunda condición:

$$y(0) = 29.313 \times 10^{-3} (0)^3 - 4.57 \times 10^{-3} (0) + C2 = 0$$

$$C2 = 0$$

$$y(x) = 29.313 \times 10^{-3} x^3 - 4.57 \times 10^{-3} x \quad (28)$$

Para valores de $x=0.228\text{m}$ se encuentra la deflexión máxima de este elemento.

$$y(0.228) = 29.313 \times 10^{-3} (0.228)^3 - 4.57 \times 10^{-3} (0.228)$$

$$y_{max} = -694.53 \times 10^{-6} \text{m} \rightarrow 0.694 \text{mm} \downarrow$$

5.2.3 Validación de la grúa mediante simulación en software 3D.

Se procede a simular la grúa sometida a los esfuerzos producidos por la carga del paciente, estas simulaciones permite comparar los resultados analíticos y de esta manera validar que el mecanismo se puede usar para la tarea a la que fue diseñado.

La figura 47 muestra los parámetros utilizados para el mallado de la grúa de transferencia en el software de simulación.

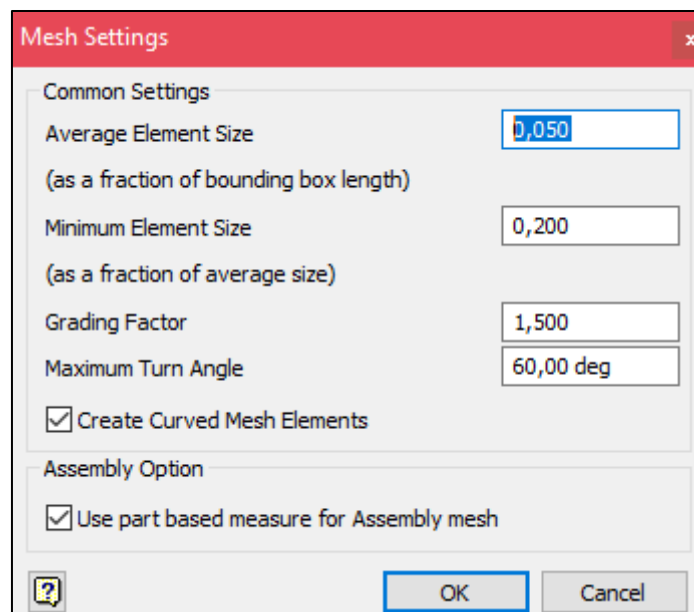


Figura 47 Parámetros de mallado.

- **Simulación de deflexiones.**

A continuación se presentan las deflexiones simuladas en Autodesk Inventor de las partes que conforman la grúa de transferencia, se aprecia que el brazo superior es el elemento que se ve más afectado, el mismo presenta una deflexión de 7.35 mm; hay que tener en cuenta que el software presenta el desplazamiento máximo de 14.39 mm, y para conocer la deflexión del brazo se deben restar al máximo los desplazamientos de la base y el mástil que son 0.49 mm y 6.55 respectivamente.

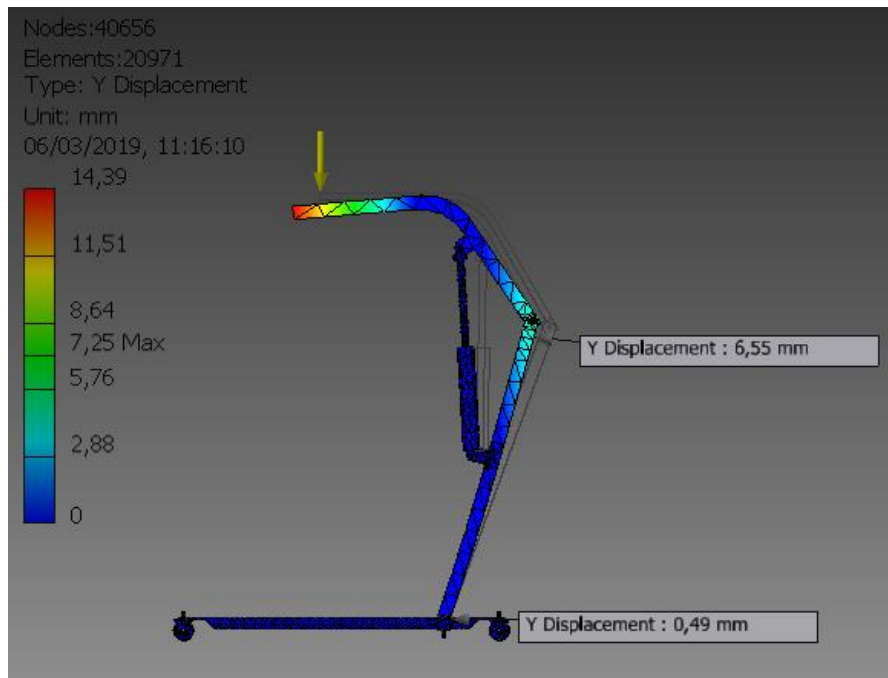


Figura 48 Simulación de deflexiones.

- **Simulación de tensión de Von Mises.**

La simulación de la tensión de Von Mises, que es proporcional a la energía de distorsión, nos permite aplicar la teoría de fallo para identificar si el material cumple con ser dúctil y garantiza que el mecanismo no va a fallar ante las cargas aplicadas.

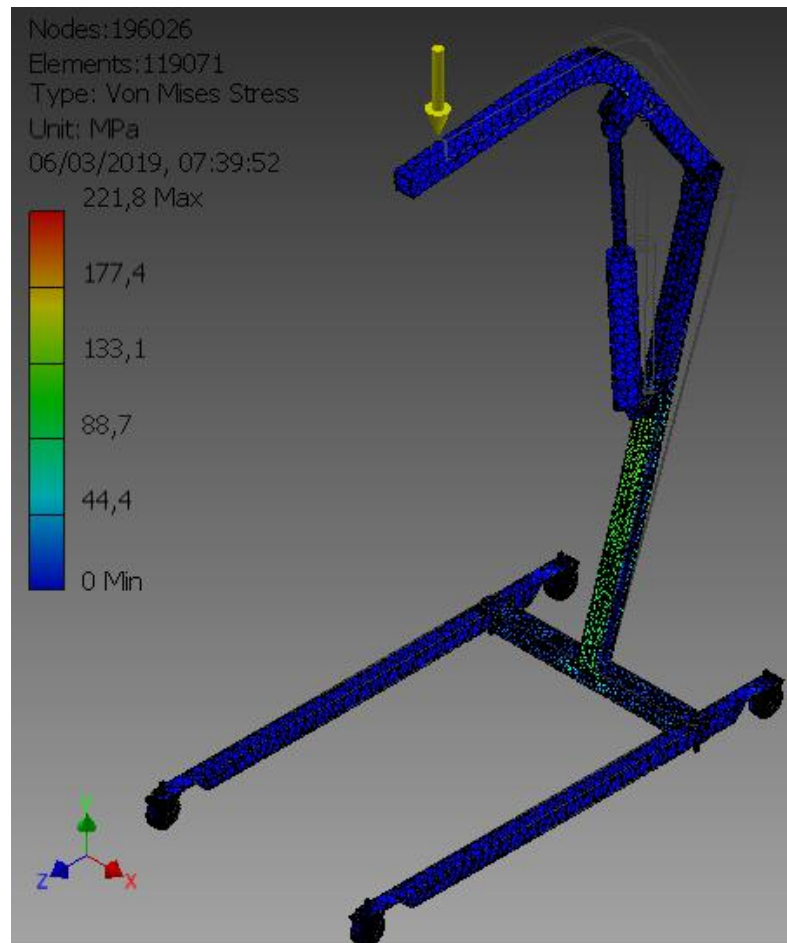


Figura 49 Simulación de esfuerzos de Von Mises

La figura 50 muestra que el mecanismo tipo grúa no presenta esfuerzos de Von Mises mayores al esfuerzo permisible que puedan poner en riesgo la estabilidad estructural del mecanismo; el valor de esfuerzo de Von Mises máximo se encuentra en el momento máximo del sistema que es en la unión entre la base y el mástil, para este caso se puede observar que en esta zona actúan esfuerzos entre 133.1MPa y 177.4MPa, dando un promedio de 155.25MPa, este último valor es menor al esfuerzo permisible de 160MPa.

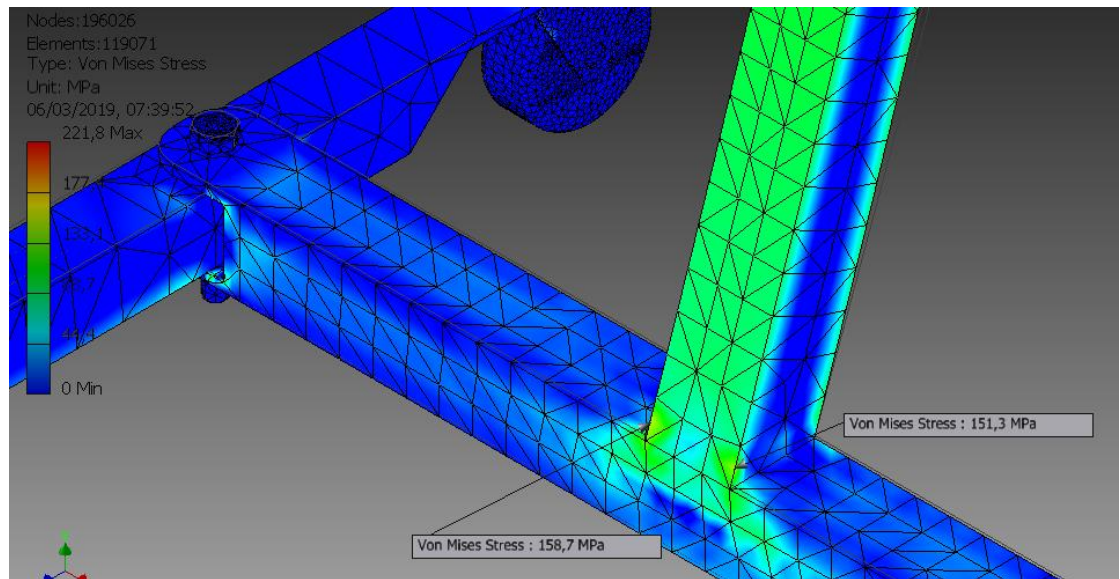


Figura 50 Simulación de esfuerzos de Von Mises – Base y mástil.

5.2.4 Selección del actuador.

La acción de levantar a los pacientes a distintas alturas para que puedan realizar sus labores de rehabilitación, hace que sea necesario seleccionar un actuador que cumpla con ciertos requerimientos como seguridad, velocidad y desplazamiento máximo, además de tener buena estética y de que pueda ser cómodo y de fácil manejo para el operador; la condición más importante a cumplir es que el mismo debe mantener su posición fija mientras no haya ninguna señal del operador de la grúa que indique que el mismo debe cambiar de posición (en cualquier distancia de extensión del vástago), por otro lado, la velocidad de desplazamiento debe ser constante y no debe ser brusca, de esta manera el operador de la grúa puede evitar cualquier incidente con el paciente y detener inmediatamente el ascenso o descenso del actuador según sea el caso.

Los datos a utilizar para poder seleccionar el actuador son obtenidos a partir del análisis estático realizado en pasos anteriores y un análisis cinemático realizado en ADAMS view, con los datos obtenidos se realiza una matriz de ponderación con algunos tipos de actuadores en donde el que tiene mayor puntuación es el que se usa en el dispositivo tipo grúa.

- **Análisis cinemático.**

Se realiza el análisis cinemático en ADAMS view, con el mismo se obtienen los siguientes resultados.

En la figura 51 se muestra la gráfica de la energía ejercida por el actuador para poder levantar el peso de la persona.

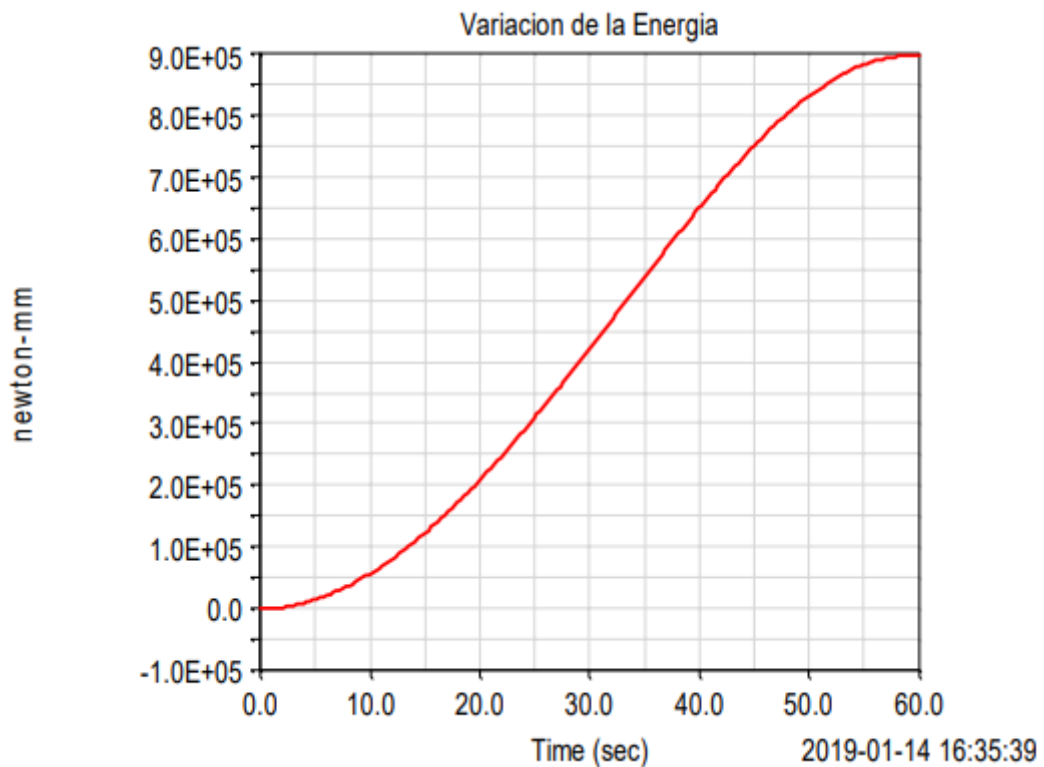


Figura 51 Variación de energía del actuador vs Tiempo

De la gráfica anterior se puede observar que la energía máxima es de alrededor de 900000 N mm, si dividimos esta energía para el desplazamiento podremos encontrar la fuerza máxima ejercida por el actuador, ésta fuerza comparada con la fuerza FA calculada anteriormente serán la restricción de fuerza para seleccionar el actuador.

$$F = \frac{900000 \text{ Nmm}}{300\text{mm}} = 3000\text{N} \quad (27)$$

La velocidad del actuador también es un factor importante, por lo que la siguiente gráfica corresponde a la velocidad empleada por el actuador a lo largo del tiempo, llegando este valor máximo a 19.7 mm/s.

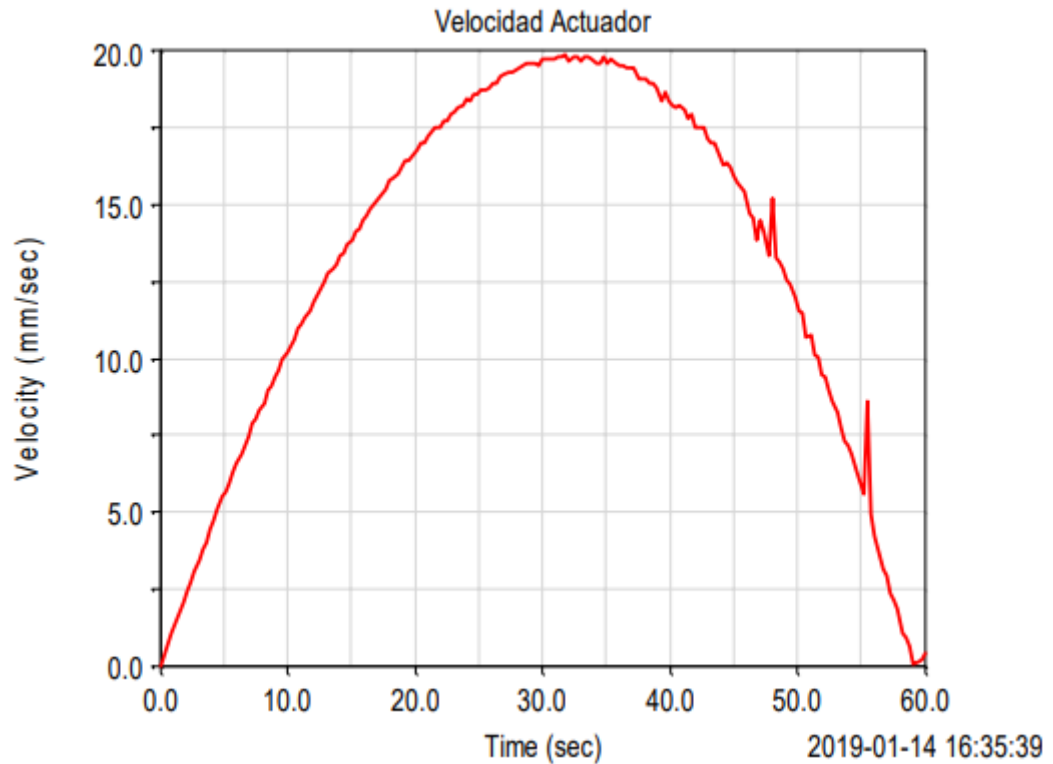


Figura 52 Velocidad vs Tiempo

- **Selección del actuador por matriz de ponderaciones.**

Para la selección del actuador se toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Seguridad para el paciente
- Desplazamiento del actuador
- Velocidad de avance y retroceso
- Estética
- Disponibilidad en el medio
- Comodidad para el operario

Las ponderaciones consideradas para este caso serán de 1 a 5, donde 1 representa el menos recomendable y 5 la mejor opción. La siguiente tabla muestra los actuadores considerados como sus ponderaciones con los parámetros mencionados.

Tabla 4 Matriz de ponderaciones para selección del actuador.

Parámetros \ Actuador	a	b	d	d	e	f	TOTAL
Actuador oleo hidráulico de botella 9008 ^a	3	3	3	3	4	3	19
Actuador oleo hidráulico Holmac HGC10S30	3	3	3	4	4	3	20
Actuador electromecánico FESTO EPCO	5	4	4	3	3	5	24
Actuador electromecánico LINAK LA44	5	5	5	5	2	5	27
Actuador electromecánico MMAC300	5	5	5	3	2	5	25

La matriz de ponderaciones nos indica que con el valor más alto de 27 puntos, el actuador más adecuado es el de la marca LINAK modelo LA44, este actuador admite una carga de hasta 12 kN y se mueve a una velocidad de hasta 8 mm/s, dichos valores cumplen los requerimientos de carga y velocidad propuestos en el cálculo analítico y en la simulación de ADAMS view.

5.2.5 Límite de estabilidad

Para poder probar que la grúa es estable es necesario calcular su centro de masa y comprobar si el mismo se encuentra dentro de su base de sustentación, que en este caso representa toda el área delimitada por los brazos inferiores de la grúa.

- **Centro de Masa.**

El análisis de la ubicación del centro de masa se realiza en sus 3 posiciones más críticas, la primera cuando el actuador se encuentra levantado en su totalidad, la segunda cuando el actuador se ha extendido a la mitad y la última cuando el actuador se encuentra totalmente retraído. El análisis cuando el actuador se encuentra totalmente extendido se muestra a continuación.

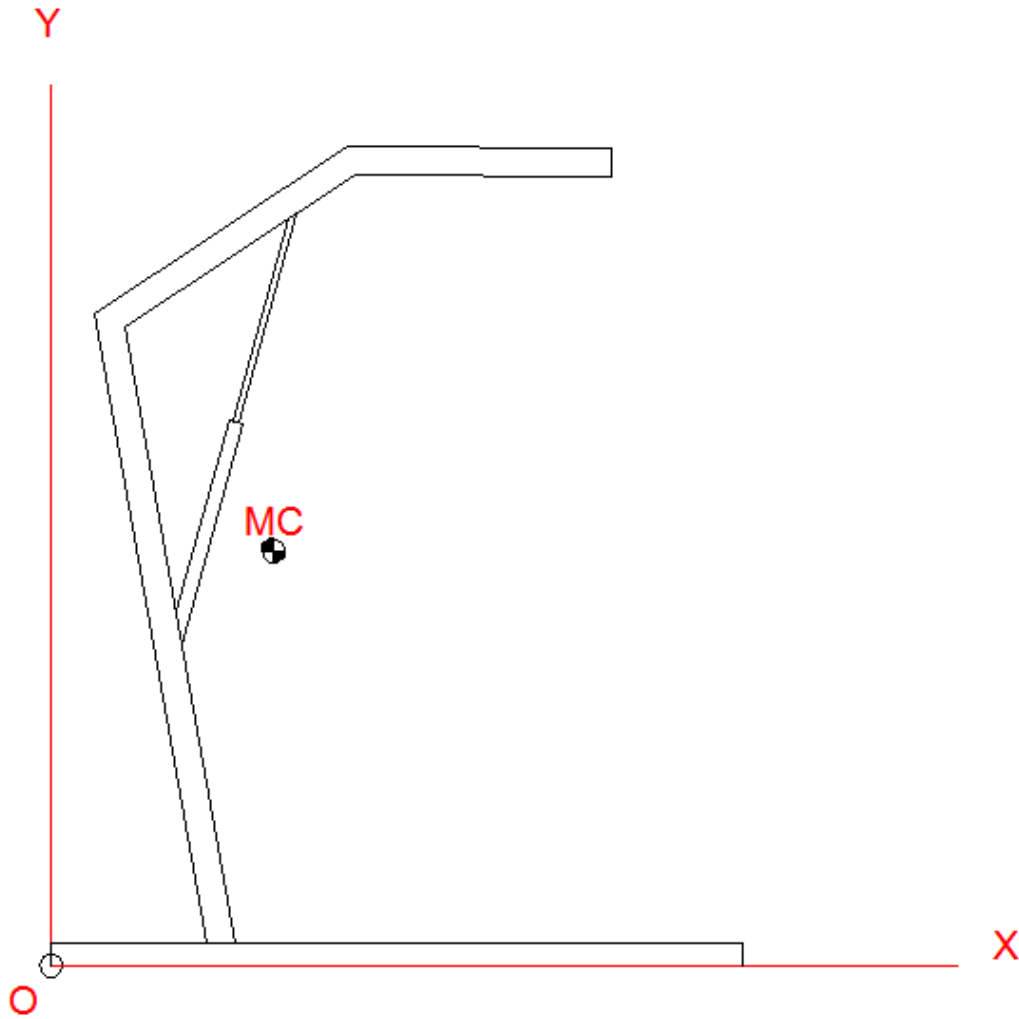


Figura 53 Esquema de grúa con centro de masa - Primera posición.

Para hallar el centro de masa usamos las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum xm}{M} \quad (28)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum ym}{M} \quad (29)$$

$$\bar{z} = \frac{\sum zm}{M} \quad (30)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Distancia desde el punto de referencia al centro de gravedad con respecto al eje x

$\bar{y}$ = Distancia desde el punto de referencia al centro de gravedad con respecto al eje y

$\bar{z}$ = Distancia desde el punto de referencia al centro de gravedad con respecto al eje z

m = Masa

M = Masa total del sistema

En la siguiente tabla se muestra un resumen de todos los valores.

Tabla 5 Centro de masa - Primera posición

#	x(mm)	y(mm)	z(mm)	m(kg)	xm(kgmm)	ym(Kgmm)	zm(Kgmm)
1	614	20	20	29595	18.171.330	591900	591900
2	614	20	525	29595	18.171.330	591900	15537375
3	253	25	275	1665	421.245	41625	457875
4	157	585,44	275	339663	53.327.091	198852306,7	93407325
5	720,92	1424,08	275	2110,66	1.521.617	3005748,693	580431,5
6	275,86	1286,89	275	2400,37	662.166	3089012,149	660101,75
7	234,49	1144,78	275	5	494.929	2416241,355	580431,5
8	332,91	796,22	275	5	799.107	1911222,601	660101,75
				M=405039,03	Σ=92277616,07	Σ=206182197,5	Σ=111237758,2

Aplicando las ecuaciones 28, 29 y 30 respectivamente, se tiene:

$$\bar{x} = \frac{93568815 \text{ kgmm}}{405039.03 \text{ kg}} = 227,82 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{210499956,5 \text{ kgmm}}{405039.03 \text{ kg}} = 509,04 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{112475542 \text{ kgmm}}{405039.03 \text{ kg}} = 274,63 \text{ mm}$$

El centro de masa del sistema se encuentra en las coordenadas (239.53, 721.01, 274.74) mm, este centro de gravedad se encuentra dentro de la base de sustentación de la grúa por lo que se puede concluir que la misma es estable en la primera posición crítica.

El cálculo del centro de masa cuando la el actuador se encuentra extendido a la mitad de su recorrido es el siguiente.

Tabla 6 Centro de masa - Segunda posición.

#	x(mm)	y(mm)	z(mm)	m(kg)	xm(kgmm)	ym(Kgmm)	zm(Kgmm)
1	614	20	20	29595	18.171.330	591900	591900
2	614	20	525	29595	18.171.330	591900	15537375
3	253	25	275	1665	421.245	41625	457875
4	157	585,44	275	339663	53.327.091	198852306,7	93407325
5	823,38	1191,78	275	2110,66	1.737.875	2515442,375	580431,5
6	349,61	1206,58	275	2400,37	839.193	2896238,435	660101,75
7	431,41	1099,27	275	5	2.157	5496,35	1375
8	317,98	831,86	275	5	1.590	4159,3	1375
				M=405039.03	Σ=92671812	Σ=205499068.2	Σ=111237758

$$\bar{x} = \frac{92671812 \text{ kgmm}}{405039,03 \text{ kg}} = 228,79 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{205499068.2 \text{ kgmm}}{405039,03 \text{ kg}} = 507,35 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{111237758 \text{ kgmm}}{112475542 \text{ kg}} = 274,63 \text{ mm}$$

El centro de masa de la grúa cuando el vástago está en la mitad de su recorrido se encuentra en el límite de estabilidad ya que se encuentra en el punto (228.79, 507.35, 274.63) mm.

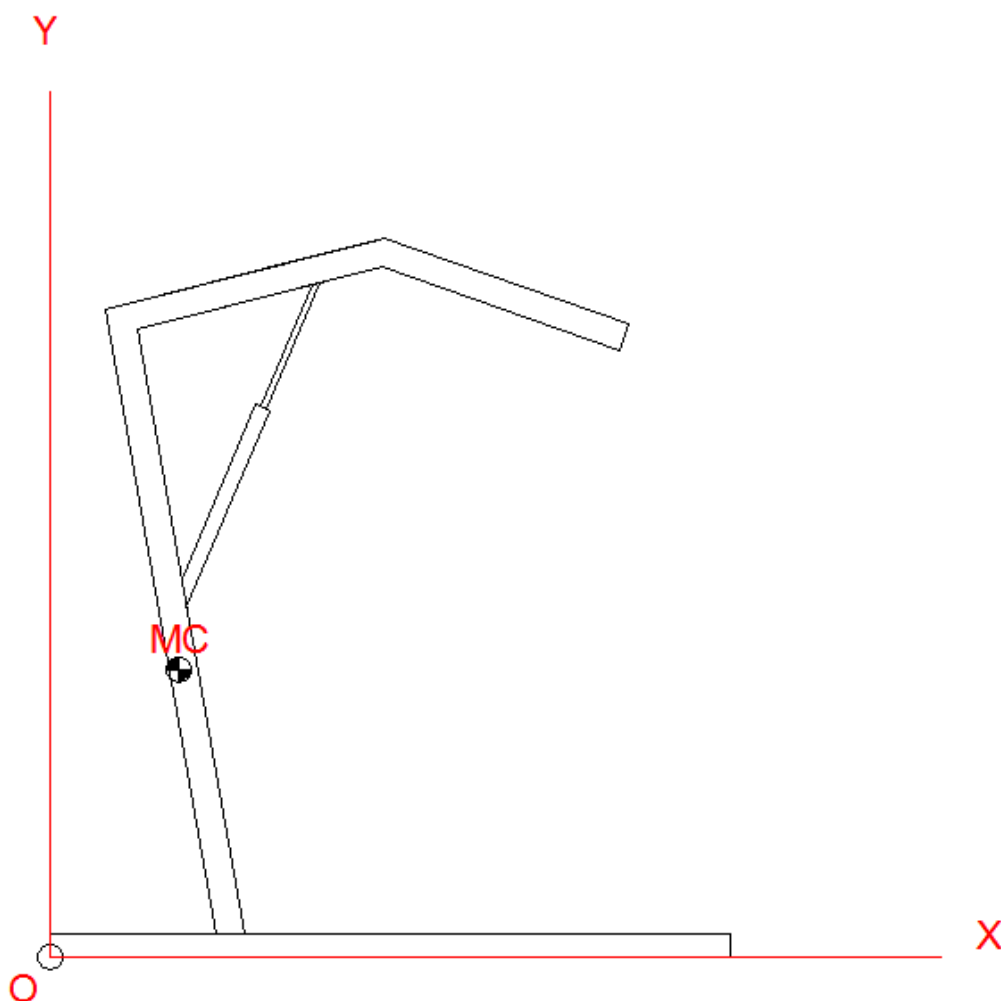


Figura 54 Esquema de grúa con centro de masa - Segunda posición.

Por último, se comprueba que en la posición de la grúa con el vástago totalmente retraído, el mecanismo mantenga su centro de masa dentro de los límites de estabilidad.

Tabla 7 Centro de masa - Tercera posición.

#	x(mm)	y(mm)	z(mm)	m(kg)	xm(kgmm)	ym(Kgmm)	zm(Kgmm)
1	614	20	20	29595	18.171.330	591900	591900
2	614	20	525	29595	18.171.330	591900	15537375
3	253	25	275	1665	421.245	41625	457875
4	157	585,44	275	339663	53.327.091	198852307	93407325
5	823,38	1191,78	275	2110,66	1.737.875	2515442,37	580431,5
6	349,61	1206,58	275	2400,37	839.193	2896238,43	660101,75
7	431,41	1099,27	275	5	910.560	2320185,22	580431,5
8	317,98	831,86	275	5	763.270	1996771,79	660101,75
				M=405039,03	Σ=92641622,3	Σ=204968078,8	Σ=111237758,2

$$\bar{x} = \frac{92641622,3 \text{ kgmm}}{405039,03 \text{ kg}} = 228,72 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{204968078,8 \text{ kgmm}}{405039,03 \text{ kg}} = 506,04 \text{ mm}$$

$$\bar{z} = \frac{111237758,2 \text{ kgmm}}{112475542 \text{ kg}} = 274,63 \text{ mm}$$

El centro de masa de la grúa cuando el vástago retraído, se encuentra en la ubicación (228.72, 506.04, 274.63) mm, el mismo se encuentra dentro del límite de estabilidad de la grúa.

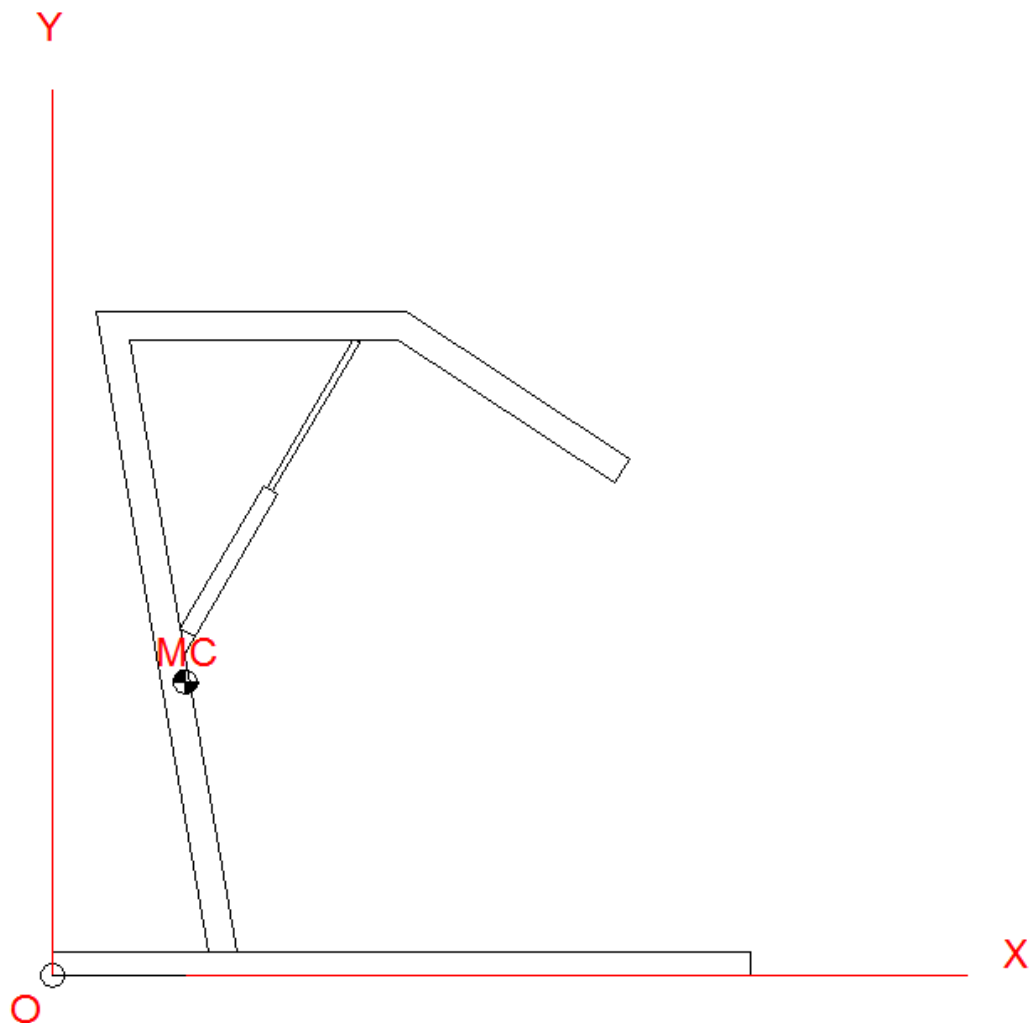


Figura 55 Esquema de grúa con centro de masa - Tercera posición.

5.3 Construcción de la grúa de transferencia.

El proceso de construcción se realiza en Talleres Avilés, ubicado en la ciudad de Cuenca, primero se realiza los planos de la grúa de transferencia en Autodesk AutoCAD, en los mismos se especifican dimensiones, tolerancias y acabados superficiales.

Para la construcción del dispositivo se utilizan técnicas de mecanizado con arranque de viruta (CAV), entre ellas se encuentra taladrado y torneado; además existen uniones soldadas por lo que las especificaciones de la soldadura se describen más adelante.

Una vez se han mecanizado todos los elementos de la grúa, se pulen y pintan para darle un acabado estéticamente agradable para los usuarios. Finalmente se ensamblan todas sus partes.



Figura 56 Construcción de grúa de transferencia.

5.3.1 Proceso de construcción.

El siguiente diagrama de procesos se realiza identificando las partes de la grúa que deberán ser elaboradas.

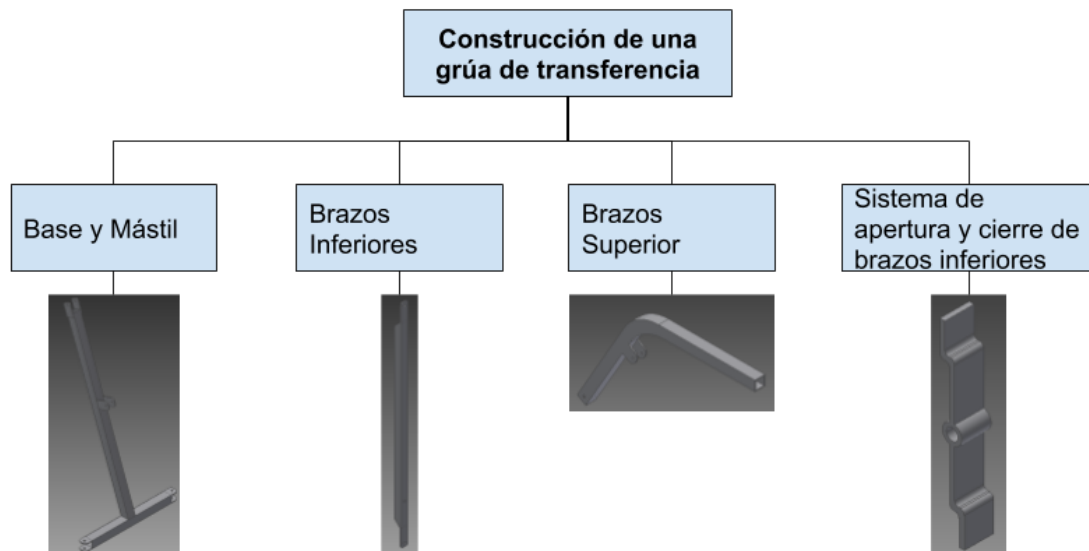


Figura 57 Diagrama de procesos para construcción de la grúa.

Cada componente se subdivide en otros, es por esta razón que se realiza un diagrama de procesos para cada parte de la grúa de transferencia.

a. Base y mástil.

El conjunto de la base y el mástil se conforma por dichos elementos independientes, una vez contruidos se unen por medio de soldadura, además cuenta con platinas en forma de “C” en el extremo superior del mástil y en ambos lados de la base, aquí encajan los brazos superior e inferiores respectivamente; se construye un soporte que se soldará en el mástil y se taladran 2 agujeros en donde se colocará la batería y el controlador del actuador. En la figura 58 se presenta el diagrama de proceso de estos elementos.

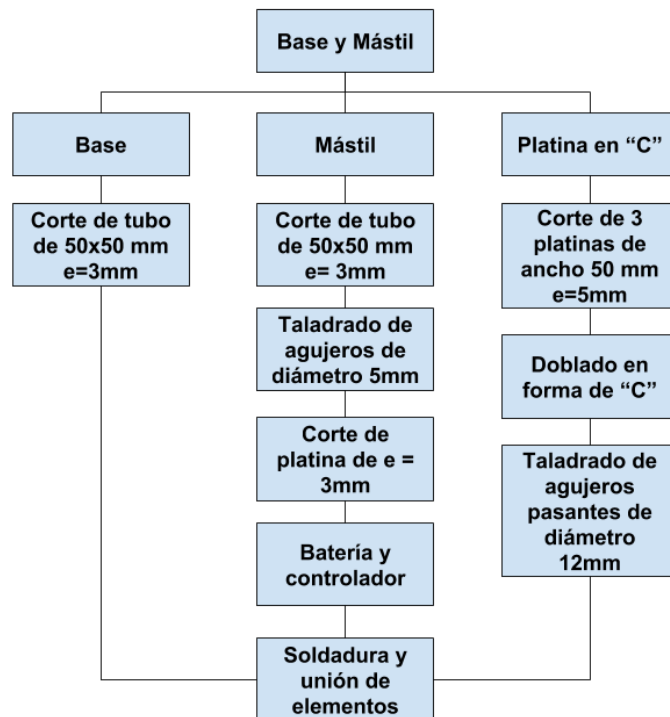


Figura 58 Diagrama de procesos para construcción de base y mástil.

b. Brazos inferiores.

Para construir el brazo inferior es necesario cortar un tubo cuadrado con las dimensiones especificadas y taladrar un agujero pasante en donde se colocarán a presión unos bujes, en estos se asentarán unos rodamientos que permitirán que la apertura y cierre de los brazos inferiores sea suave, además se sueldan platinas en los extremos de los tubos y en estas se taladran agujeros que servirán para posteriormente colocar las ruedas de la grúa. El diagrama de este proceso se muestra a continuación.

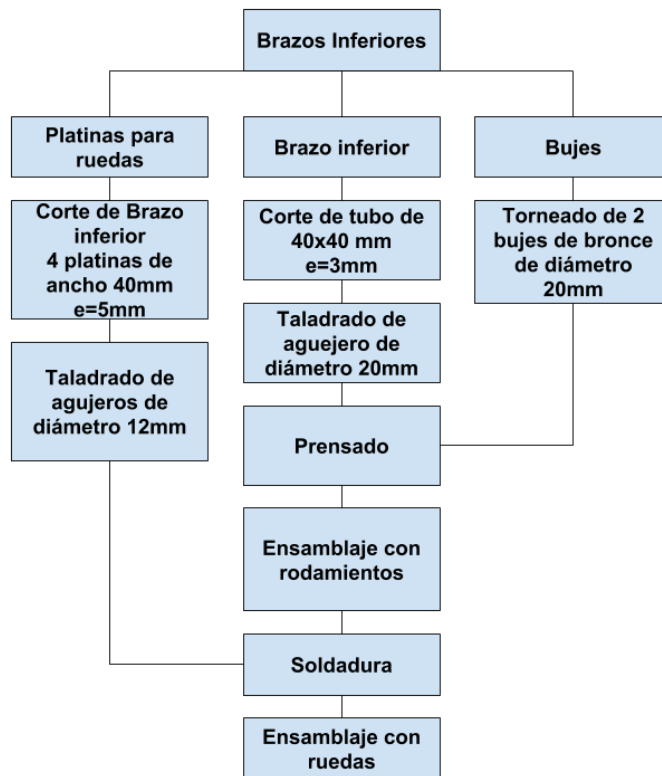


Figura 59 Diagrama de procesos para construcción de brazos inferiores.

c. Brazo superior.

El brazo superior se construye a partir de un tubo cuadrado de dimensiones 50x50 mm y espesor $e=3\text{mm}$, y se taladra dos agujero de diámetro 20mm uno en cada extremo del brazo; se fabrica un par de bujes de bronce fosfórico que se introducen a presión en los agujeros, por aquí se introducen los pasadores que unen el brazo superior con el mástil y el arnés respectivamente, facilitando así el movimiento entre estos elementos. Finalmente se fabrican las platinas que servirán como refuerzo para sujetar el actuador y se sueldan a la estructura.

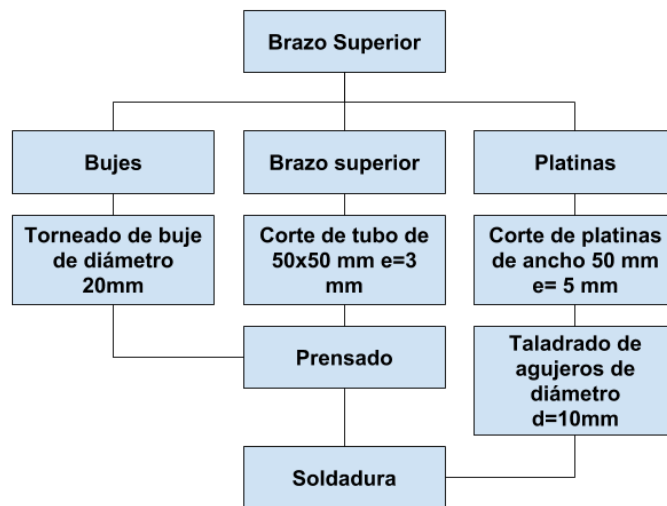


Figura 60 Diagrama de procesos para construcción de brazo superior.

d. Sistema de apertura y cierre de brazos inferiores.

El sistema de apertura y cierre se construye a partir de un buje que servirá de pivote, a este irán soldadas un par de platinas que servirán como pedales que se deberán pisar para poder abrir o cerrar los brazos inferiores; este último movimiento se obtiene a partir de platinas cruzadas que actúan como palancas y que conectan el pedal con los brazos. El diagrama de proceso para el sistema de apertura y cierre se muestra en la figura 61.

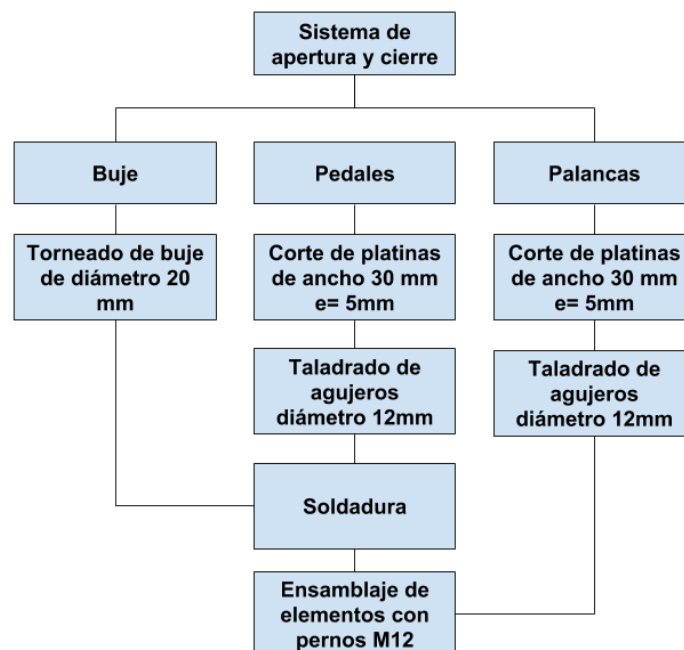


Figura 61 Diagrama de procesos para construcción de sistema de apertura y cierre.

Una vez se hayan construido todos los elementos se procede a lijar y pulir los mismos para posteriormente pintar todo el mecanismo. Se ensamblan todas las partes y se coloca el actuador con sus baterías y controlador; todo esto se realiza tratando de evitar golpes o rayones para que la pintura no se estropee.



Figura 62 Ensamblaje de elementos de la grúa de transferencia.



Figura 63 Ensamblaje de actuador, baterías y controlador.



Figura 64 Grúa de transferencia terminada.

5.3.2 Análisis de precios unitarios.

Una vez que se ha completado la construcción de la grúa de transferencia se realiza el análisis de precios unitarios (APU), este nos permitirá poder comparar el costo final de la grúa con las que se encuentran en el mercado. El APU completo se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 8 APU - Brazos inferiores.

PROYECTO: GRÚA DE TRANSFERENCIA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE: Fundación OSSO					
ITEM: 1					
DESCRIPCION: <i>Brazos inferiores</i>					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, entre otros)	3%MO			0,10	
Soldadora	1	5,00	2	10,00	
Cortadora	1	2,00	1	2,00	
Torno	1	5,00	2	10,00	
			PARCIAL M	12,10	
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO/U	COSTO TOTAL C=A*B	
Tubo cuadrado de (40x40)mm e=3mm	m	2,40	5	12,00	
Platina 9mm	m	1,00	3	3,00	
Pernos M12	u	11,00	0,81	8,91	
Tuercas M12	u	15,00	0,71	10,65	
Electrodos 6011	kg	0,50	16,5	8,25	
Electrodos 7018	kg	0,50	17,7	8,85	
Ruedas con freno	u	2,00	11,4	22,80	
Ruedas sin freno	u	2,00	8,37	16,74	
Rodamientos	u	4,00	3,5	14,00	
Piedra de pulir	u	1,00	3	3,00	
Pintura	l	1,00	50	50,00	
			PARCIAL N	158,20	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Transporte hacia la fundación	u	1	5,00	1	5,00
				PARCIAL O	5,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Ayudante mecánico	1	3,22	0,5	1,61	
Soldador	1	3,67	0,5	1,84	
			PARCIAL P	3,45	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)				178,75	
INDIRECTOS Y UTILIDAD			20,00%	35,75	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO				214,50	

Tabla 9 APU - Base y mástil.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE: Fundación OSSO					
PROYECTO: GRÚA DE TRANSFERENCIA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD					
ITEM: 2					
DESCRIPCION: <i>Base y mástil</i>					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, entre otros)	3%MO			0,05	
Soldadora	1	3,50	1	3,50	
Cortadora	1	3,00	4	7,00	
			PARCIAL M	10,55	
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B	
Tubo cuadrado de (50x50)mm e=3mm	m	1,70	6	10,20	
Platinas	m	1,00	4	4,00	
Actuador electro mecánico	u	1,00	163,02	163,02	
Mando para el actuador	u	1,00	57	57,00	
Caja con baterías recargables	u	1,00	100	100,00	
Caja de control (incluye mando)	u	1,00	158	158,00	
Soportes	u	2,00	4	8,00	
Tubo redondo cedula 40	m	0,70	7	4,9	
			PARCIAL N	505,12	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDA D	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Importación España - Ecuador	U	1	450,00	1	450,00
Transporte hacia la fundación	U	1	5,00	1	5,00
				PARCIAL O	455,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ayudante mecánico		1	3,22	0,25	0,81
Soldador		1	3,22	0,25	0,81
				PARCIAL P	1,61
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					972,28
INDIRECTOS Y UTILIDAD				20,00%	194,46
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO					1166,73

Tabla 10 APU - Brazo superior.
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DEL OFERENTE: Fundación OSSO					
PROYECTO: GRÚA DE TRANSFERENCIA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD					
ITEM: 3					
DESCRIPCION: <i>Brazo Superior</i>					
EQUIPO Y HERRAMIENTA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Herramienta menor (Taladro, brocas, llaves de boca, dados, entre otros)	3%MO			0,05	
Cortadora	1	1,00	0,5	0,50	
Dobladora	1	2,00	0,15	0,30	
			PARCIAL M	\$0,85	
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B	
Tubo cuadrado de (50x50)mm e=3mm	m	1,00	6	6,00	
Bujes de bronce	m	0,12	3,5	0,42	
Percha	u	1,00	102	102,00	
Arnés	u	1,00	186,96	186,96	
			PARCIAL N	\$295,38	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA/U B	DISTANCIA C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Importación España - Ecuador	U	1	280,00	1	280,00
Transporte hacia la fundación	U	1	5,00	1	5,00
				PARCIAL O	\$285,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C	
Ayudante mecánico	1	3,22	0,25	0,81	
Soldador	1	3,22	0,25	0,81	
			PARCIAL P	\$1,61	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)				582,84	
INDIRECTOS Y UTILIDAD			20,00%	116,57	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO				\$699,41	

Tabla 11 Análisis de costos totales.

ANÁLISIS DE COSTOS TOTALES					
<i>PROYECTO: GRÚA DE TRANSFERENCIA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD</i>					
Fecha: 21/Enero/2019.					
Nº	Descripción	Unid.	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Brazos inferiores	U	1	\$214,50	\$214,50
2	Base y mástil	U	1	\$1166,73	\$1166,73
3	Brazo Superior	U	1	\$699,41	\$699,41
				TOTAL	\$2080,64
<i>Son: Dos mil ochenta dólares con 64 centavos.</i>					
Responsable: Mateo Astudillo Flores.					

5.4 Pruebas de funcionamiento.

Las pruebas de funcionamiento se realizan previo a la implementación del dispositivo, inicialmente se comprueba que el dispositivo pueda levantar la carga necesaria por lo que se le somete a cargas de 80kgf y 90kgf. La grúa levanta sin problemas los pesos propuestos y además el actuador alcanza distintas alturas y mantiene su posición mientras no haya ninguna señal para que el mismo se mueva. El mecanismo además de servir para la transferencia de pacientes puede ayudar a que ellos puedan realizar labores de rehabilitación a distintas alturas.

Como segunda prueba, se empuja a la grúa sin carga en línea recta, se hace girar 90° a la derecha y 90° a la izquierda. La grúa se mueve suavemente ante estos movimientos y sin inconvenientes.

En una tercera etapa se realiza una prueba combinando las 2 anteriores, es decir se levanta una carga de 80kgf y 90kgf respectivamente y se comprueba que la grúa no tenga inconvenientes en moverse en línea recta y pueda tomar giros. El mecanismo supera las pruebas sin problema.

El último ensayo se realiza dentro de las instalaciones de la fundación OSSO, en donde se verifica que la grúa pueda moverse a pesar de las restricciones arquitectónicas, ingresar a las habitaciones y alcanzar los puntos propuestos, además, puede levantar sin problemas a los pacientes y ubicarlos en distintas alturas.



Figura 65 Prueba de funcionamiento con pacientes, Fundación OSSO [7].

5.5 Implementación.

La entrega e implementación de la grúa de transferencia en la Fundación OSSO se realiza con autoridades de la ciudad y de la Universidad Politécnica Salesiana así como de miembros del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica. De esta manera concluye el proyecto de diseño, construcción e implementación de una grúa de transferencia para pacientes y que les permita alcanzar distintas alturas para sus actividades de rehabilitación.



Figura 66 Entrega de la grúa de transferencia en la fundación OSSO.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El estudio de campo y las encuestas realizadas evidencian que existe probabilidad de accidentes para los pacientes y que las personas encargadas de su traslado sufren de molestias físicas ocasionadas por el proceso de manipulación manual de los discapacitados, por lo que se determina que una grúa de transferencia puede reducir el riesgo laboral.

El uso de software nos permite garantizar que el mecanismo puede cumplir con las restricciones de movimiento y que puede ser usado dentro de las instalaciones de la fundación, además de que puede levantar sin inconvenientes el peso máximo de los pacientes que se encuentran dentro de ella.

En cuanto al diseño del mecanismo se tiene:

El módulo de sección S del brazo superior se calcula en $S = 4.89\text{cm}^3$, sin embargo se utiliza un tubo cuadrado de $S = 5.652\text{cm}^3$, el mismo que tiene dimensiones de 50mmx50mm y espesor 2mm; al utilizar un elemento de mayor módulo de sección garantizamos que el mismo no va a fallar ante la carga máxima de diseño.

Para la base y el mástil, se calcula un módulo de sección mínimo requerido de $S = 7.466\text{cm}^3$, y se utiliza un tubo de 50mmx50mm y espesor de 3mm con módulo de sección $S = 8.48\text{cm}^3$, esto nos permite estandarizar el uso de un mismo material para estos elementos, además se asegura que el elemento no va a fallar.

Las bases inferiores se construyen con un tubo cuadrado de 40x40 mm, espesor de 3 mm y módulo de sección $S = 5.1\text{cm}^3$, estas dimensiones son normalizadas comercialmente y se pueden utilizar para la construcción de este elemento.

El diámetro del pasador A se calcula en 6.9mm, sin embargo el actuador elegido presenta un agujero de diámetro 10mm en el extremo superior y un agujero de diámetro 12mm en el extremo inferior, por lo que se usa como pasador un perno DIN 931 M10 para la unión entre el actuador y el brazo superior; y para la unión entre el mástil y el actuador se utiliza un perno DIN 931 M12, ambos pasadores garantizan que el sistema no va a fallar.

Para el pasador B se calcula un diámetro de 5.69mm, sin embargo, en este caso se utiliza un perno DIN 931 M12 para estandarizar el uso de este material con el resto de la grúa.

El pasador que permite la unión entre la base y los brazos inferiores se calcula que debe tener un diámetro mínimo de 2.71mm, de la misma manera se usan pernos DIN 931 M12, al usar diámetros mayores se garantiza que en esta zona no va a fallar la unión.

Para el pasador D que permite colocar la percha en donde se ubicará el paciente, se calcula un diámetro de 5.38mm, sin embargo se usa un pasador DIN 931 M12 con el propósito de estandarizar el elemento.

Los elementos de soporte A, B y D se calculan en un espesor de 3.9mm, 3.24mm, y 1.53mm respectivamente; para poder estandarizar el uso de un mismo elemento, se aprovecha una sola platina de 50mm de ancho y espesor de 6mm.

La deflexión máxima que se calcula para el brazo superior es de 8.5mm mientras que la máxima simulada es de 7.35mm, de esta manera decimos que la deflexión se encuentra en la zona de plasticidad del material, lo que no representa un riesgo para la grúa.

Por su parte, la deflexión calculada en la base es de 0.13mm y la simulada es de 0.49mm, lo que no representa un riesgo de fallo por flexión bajo la carga máxima de diseño.

La simulación de Von Mises nos indica que los materiales no tienen riesgo de sufrir fallo ya que el esfuerzo máximo promedio simulado es de 155MP, el mismo que es menor al esfuerzo permisible de diseño, por lo que se valida que los materiales seleccionados pueden cumplir con la tarea para la que se han diseñado, además garantiza que el dispositivo funcionará sin problemas.

El cálculo analítico de la fuerza que debe ejercer el actuador es de 3.8kN, mientras que el análisis cinemático en ADAMS view nos indica que será de 3kN, además muestra que el actuador debería desplazarse a una velocidad máxima de 19 mm/s; se selecciona el actuador LINAK LA44 que puede ejercer una fuerza de 12kN por lo que no tiene problemas en levantar ni bajar al paciente, además se desplaza a una velocidad de hasta 8 mm/s, se valida que el actuador elegido es el adecuado.

El actuador seleccionado también presenta buenas características de seguridad ya que puede mantener su posición ante cualquier falla del sistema debido a su sistema auto bloqueante de sin fin y corona, además, tiene buena presencia estética y su

desplazamiento máximo permite alcanzar las alturas requeridas, esto ratifica que el actuador es el correcto.

Se calcula el centro de masa de la grúa en las 3 posiciones más críticas: cuando el vástago del actuador se encuentra totalmente extendido, a mitad de su recorrido y cuando se encuentra totalmente retraído; en todos los casos el centro de masa se encuentra dentro del límite de estabilidad por lo que se concluye que el dispositivo es estable y no se volcará en ninguna de sus posiciones.

El análisis de precios unitarios indica que la grúa tiene un precio total de \$2080,64, este valor se encuentra entre los precios de grúas disponibles en el mercado.

7. CONCLUSIONES.

- Por medio de observación y encuestas se pudo identificar la situación actual de la edificación de la fundación OSSO y los procesos actuales con los que se realiza la manipulación manual de pacientes, y se determina que es necesario una solución urgente para mejorar la MMP en la institución; por otro lado se pudo analizar los diferentes tipos de dispositivos existentes y se llega a la conclusión que el más óptimo es una grúa de transferencia ya que la misma puede ayudar a la movilización de pacientes de un lugar a otro y alcanzar distintas alturas que permitan sus actividades de rehabilitación.
- Considerando las restricciones arquitectónicas del lugar, las condiciones de los pacientes y con ayuda de software de ingeniería, se pudo determinar los parámetros de diseño de una grúa de transferencia, así como los materiales adecuados para poder conseguir un mecanismo ligero, ergonómico, seguro y capaz de levantar un peso máximo de 120 kgf.
- Se realizó la construcción de una grúa de transferencia, utilizando los procesos de manufactura y materiales disponibles en el mercado local, la misma que hace posible el traslado de pacientes de un lugar a otro y que puede ayudarlos a alcanzar distintas alturas para sus actividades de rehabilitación, garantizando su seguridad y la de las personas encargadas de su cuidado.
- El análisis de precios unitarios permite comprobar que el precio de la grúa de transferencia resulta ser más barata que las disponibles en el mercado local y similar a las del mercado internacional, sin embargo, hay que considerar que el precio de producción de una sola unidad no se compara con los precios de producción en serie ya que muchos rubros como los de importación se ven drásticamente disminuidos.

8. RECOMENDACIONES

- Para evitar retrasos e inconvenientes, tener en cuenta los tiempos de envío y las condiciones de importación desde un país a otro, esto dependerá de cada uno de los elementos, específicamente de su material, composición y peso.
- Revisar cuidadosamente todas las discapacidades y afecciones de los pacientes, puede ser necesario el uso de arneses distintos dependiendo de las mismas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] International classification of functioning, disability and health. Geneva: World Health Organization, 2001.
- [2] Guía de apoyo técnico-pedagógico: Necesidades educativas especiales en el nivel de educación parvulario. Tomo 3. Santiago de Chile: Ministerio de Educación de Chile, 2007.
- [3] Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades - CONADIS, "Personas con discapacidad registradas", 2018.
- [4] S. Herrera, G. Henríquez and C. Urrea, "Diseño e implementación de un nuevo sistema motriz para traslado de discapacitados: Factibilidad técnica y económica", 16 Convención científica de ingeniería y arquitectura, 2012. [Accessed 25 January 2019].
- [5] P. Solano, "Construcción de una grúa para transferencia de personas con discapacidad motriz", Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2016.
- [6] R. Barragan, "Dispositivo de elevación para discapacitados", Tesis profesional, Instituto Politécnico Nacional, Azcapotzalco, 2012.
- [7] L. Zumba, Fundación Osso, 2018.
- [8] Organización Mundial de la Salud, "Discapacidad y salud", Who.int. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>. [Accessed: 11- Nov- 2018].
- [9] Ley Orgánica de Discapacidades. Quito: Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2012.
- [10] Organización Mundial de la Salud, "Clasificación Internacional del Funcionamiento y la Discapacidad", 1999
- [11] C. Egea and A. Sarabia, "Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad", Murcia, 2001.
- [12] Organización Mundial de la Salud, "Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud ", 2001
- [13] Clasificación de Tipo de Discapacidad - Histórica. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

- [14] S. González et al., "Calidad de vida en pacientes con discapacidad motora según factores sociodemográficos y salud mental", Revista chilena de neuro-psiquiatría, vol. 50, no. 1, pp. 23-34, 2012.
- [15] M. Cobas et al., "Caracterización epidemiológica de las personas con discapacidad en Cuba", Revista Cubana de Salud Pública, vol. 36, pp. 306-310, 2010. [Accessed 25 January 2019].
- [16] "ISO 11228-1:2003. Ergonomics -Manual handling- Part 1 - Lifting and carrying", Iso.org, 2003. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:26520:en>. [Accessed: 25- Jan- 2019].
- [17] G. Almeida, "Vigilancia de la Salud en Trabajadores Expuestos a Manipulación Manual de Cargas en una Empresa Transportadora de Valores", Máster en Seguridad Salud y Ambiente, Universidad San Francisco de Quito, 2009.
- [18] A. Villarroya, Movilización de pacientes: Evaluación del riesgo. Método MAPO. Instituto Galego de Seguridade e Saúde Laboral - ISSGA, 2012.
- [19] A. Corell, "Nuevos conceptos en el desarrollo de grúas de transferencia", Revista de biomecánica, no. 27, pp. 13-15, 2000.
- [20] Grúa Básica POOL E-185. España: Ortopedia MIMAS.
- [21] Grúa de techo. Ninove: Handi move international, 2015.
- [22] E. Conterón, "Diseño y construcción de una base portátil para un dispositivo para traslado de personas con discapacidad motriz entre sillas de ruedas y automóviles", Ingeniero Mecatrónico, Universidad Técnica del Norte, 2016
- [23] G. Uvida, "Equipo Biomecánico para la movilización de pacientes sin autonomía en el personal de enfermería del hospital Andino Alternativo de Chimborazo", Magister en Seguridad Industrial, Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.
- [24] "Grúa O Elevador Para Pacientes Eléctrica - U\$S 3.998,99", Artículo.mercadolibre.com.ec. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418229198-grua-o-elevador-para-pacientes-electrica-_JM. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [25] " Grúa Manual Para Trasladar Pacientes", Artículo.mercadolibre.com.ec, 2019. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-418330905-grua-manual-para-trasladar-pacientes-_JM?quantity=1. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [26] "Grúa Powerlift 135 mini con arnés", Ortopedia Moliner. [Online]. Available: <https://ortopedialowcost.com/es/gruas-transferencia-para-enfermos/125-powerlift-135-mini-grua-ortopedica-enfermos-transferencia.html>. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [27] "Grúa De Transferencia Invacare Birdie Compact", Ortopediaenlinea.com. [Online]. Available: <https://ortopediaenlinea.com/gruas-transferencia/elevador-invacare-birdie-compact>. [Accessed: 24- Jan- 2019].

- [28] "Grúa de traslado Aks Foldy II", Ortopediaviva.com. [Online]. Available: <https://www.ortopediaviva.com/gruas-enfermos-discapacitados/509-grua-de-traslado-aks-foldy.html>. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [29] "Grúa eléctrica Carlo Classic ALU", Ortopedia MIMAS. [Online]. Available: <https://www.ortopediamimas.com/gruas-de-traslado/gruas-domicilio/5533-grua-electrica-carlo-classic-alu.html>. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [30] "Grua hospitalaria Oxford advance", Ortopedia Moliner, 2019. [Online]. Available: <https://ortopedialowcost.com/es/gruas-transferencia-para-enfermos/137-grua-enfermos-hospitalaria-oxford-advance.html>. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [31] O. Solis, "Diseño para el ensamblaje con prototipado rápido: Rediseño de actuador electromecánico", CIATEQ, 2018.
- [32] "Actuadores lineales eléctricos para un ajuste suave, inteligente y potente", Linak.es. [Online]. Available: <https://www.linak.es/productos/actuadores-lineales/>. [Accessed: 25- Jan- 2019].
- [33] Gatos de botella. Oyazun: Pegamo.
- [34] Cilindros multiuso - Retorno por muelle. Holmatro.
- [35] Cilindros eléctricos EPCO, accionados por husillo. FESTO, 2018.
- [36] Actuador LA44 Data Sheet. Linak, 2018.
- [37] "Actuador lineal 12V - 300mm", Electrónica Embajadores. [Online]. Available: <https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/MMAC300/motor-es-servomotores-/actuadores-lineales/actuador-lineal-12v-300mm>. [Accessed: 25- Jan- 2019].
- [38] Arnese de elevación - Ficha técnica del producto. España: VIRMEDIC, 2010.
- [39] "Arnes dorso lumbar piernas separadas baño winncare", Ortopedia Moliner. [Online]. Available: https://ortopedialowcost.com/es/arneses-gruas/149-179-arnes-grua-dorso-lumbar-piernas-separadas-virmedic.html#/25-arneses_grua-talla_m. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [40] "Arneses para grúas de traslado", Ortoweb.com, 2018. [Online]. Available: <https://www.ortoweb.com/equipamiento-hogar/gruas-de-traslado-1/arneses-para-gruas-1>. [Accessed: 14- jun- 2018]
- [41] "Elevador pacientes", EyM Servicios Hospitalarios. [Online]. Available: <https://www.eymservicios.com/elevador-pacientes/>. [Accessed: 24- Jan- 2019].
- [42] "Percha", Liko.com, 2018. [Online]. Available: <http://www.liko.com/es/espana/Productos/Accessories/Sling-Bars/>. [Accessed: 25- Jul- 2018].
- [43] "Perchas", Hill-rom.es. [Online]. Available: <https://www.hill-rom.es/es/Products/Products-by-Category/patient-handling/sling-bars/>. [Accessed: 25- Jan- 2019]. D. L. Nelson, M. A. Mitchell, P. G. Groszewski, S. L. Pennick, y P. R. Manske, «Wrist Range of Motion in Activities of Daily Living», en

Advances in the Biomechanics of the Hand and Wrist, Springer, Boston, MA, 1994, pp. 329-334.

- [44] E. Mendia, D. Castanier, "Diseño, construcción e implementación de una silla de ruedas eléctrica plegable para una persona con problemas de movilidad", Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [45] F. P. Beer et al, Mecánica de Materiales, Quinta Edición, México: Mc Graw Hill.
- [46] Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett. Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley, Novena Edición. Mc Graw Hill.
- [47] Robert L. Norton, Diseño de máquinas, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. Cuarta Edición. México.
- [48] DIPAC, Catálogo Tubo estructural cuadrado - Ecuador.
- [49] DIPAC, Catálogo Perfiles laminados - Platinas. Ecuador.
- [50] M. Tejerizo, "Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3", Ingeniería Industrial, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2015.

ANEXOS

ANEXO I. Esfuerzo de fluencia y esfuerzo último de algunos aceros.

Nomenclatura		F _y (3)		F _u (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

ANEXO II. Especificaciones - Tubo estructural cuadrado DIPAC.

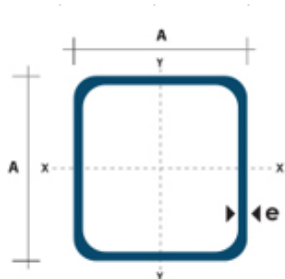


TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo Normal	6.00 m
Otros Largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20.00 mm a 100.00 mm
Espesor	Desde 1.20 mm a 5.00 mm



A(mm)	e(mm)	I(cm ⁴)	I(mm ⁴)	c(mm)	S(mm ³)	S(cm ³)	I(m ⁴)
20	1,2	0,53	5300	10	530	0,53	5,3E-09
20	1,5	0,58	5800	10	580	0,58	5,8E-09
20	2	0,69	6900	10	690	0,69	6,9E-09
25	1,2	1,08	10800	12,5	864	0,864	1,1E-08
25	1,5	1,21	12100	12,5	968	0,968	1,2E-08
25	2	1,48	14800	12,5	1184	1,184	1,5E-08
30	1,2	1,91	19100	15	1273,33	1,27333	1,9E-08
30	1,5	2,19	21900	15	1460	1,46	2,2E-08
30	2	2,71	27100	15	1806,67	1,80667	2,7E-08
40	1,2	4,38	43800	20	2190	2,19	4,4E-08
40	1,5	5,48	54800	20	2740	2,74	5,5E-08
40	2	6,93	69300	20	3465	3,465	6,9E-08
40	3	10,2	102000	20	5100	5,1	1E-07
50	1,5	11,06	110600	25	4424	4,424	1,1E-07
50	2	14,13	141300	25	5652	5,652	1,4E-07
50	3	21,2	212000	25	8480	8,48	2,1E-07
60	2	21,26	212600	30	7086,67	7,08667	2,1E-07
60	3	35,06	350600	30	11686,7	11,6867	3,5E-07
75	2	50,47	504700	37,5	13458,7	13,4587	5E-07
75	3	71,54	715400	37,5	19077,3	19,0773	7,2E-07
75	4	89,98	899800	37,5	23994,7	23,9947	9E-07
100	2	122,99	1229900	50	24598	24,598	1,2E-06
100	3	176,95	1769500	50	35390	35,39	1,8E-06
100	4	226,09	2260900	50	45218	45,218	2,3E-06
100	5	270,57	2705700	50	54114	54,114	2,7E-06

ANEXO III. Especificaciones – Perfiles laminados platinas DIPAC.



PERFILES LAMINADOS PLATINAS



Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A36 SAE 1008
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta

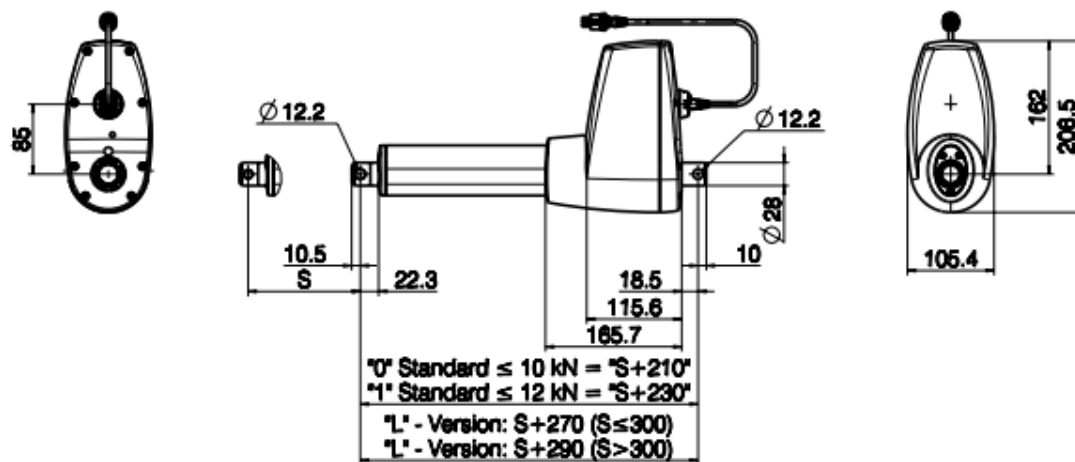


Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	
A	e				cm ²
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00

PERFILES

ANEXO IV. Especificaciones – Actuador LINAK LA 44.

Power supply	Spindle pitch (mm)	Thrust max. Push (N)	Motor type	Speed at 0/full load (mm/sec.)	Current at full load (Amp.)
24VDC	8	12000	Standard	6.2 / 4.2	6.1
CBJ1/2	8	12000	Standard	6 / 3.3	6.0
CB6S / CB16 + 35% trafo	8	12000	Standard	7.9 / 4.4	6.1
CB20 280W trafo	8	12000	Standard	7.8 / 5.1	6.2
24VDC	8	12000	Fast	6.9 / 5.0	7.3
CBJ1/2	8	12000	Fast	7.3 / 4.3	7.3
CB6S / CB16 +35% trafo	8	12000	Fast	8.9 / 4.9	7.4
CB20 280W trafo	8	12000	Fast	8.6 / 5.7	7.0
24VDC	12	10000	Standard	11 / 7.6	7.4
CBJ1/2	12	10000	Standard	10.4 / 6	7.5
CB6S / CB16 +35% trafo	12	10000	Standard	13.5 / 6.8	7.6
CB20 280W trafo	12	10000	Standard	13.8 / 8.3	7.5
24VDC	12	10000	Fast	11.8 / 7.7	8.2
CBJ1/2	12	10000	Fast	11.1 / 6.4	7.8
CB6S / CB16 +35% trafo	12	10000	Fast	14 / 6.8	8.0
CB20 280W trafo	12	10000	Fast	14 / 8.3	8.0



INSTALLATION DIMENSION

ANEXO V. LISTADO DE NIÑOS Y DIAGNÓSTICOS.

PROYECTO “Los Pequeñitos de OSSO”

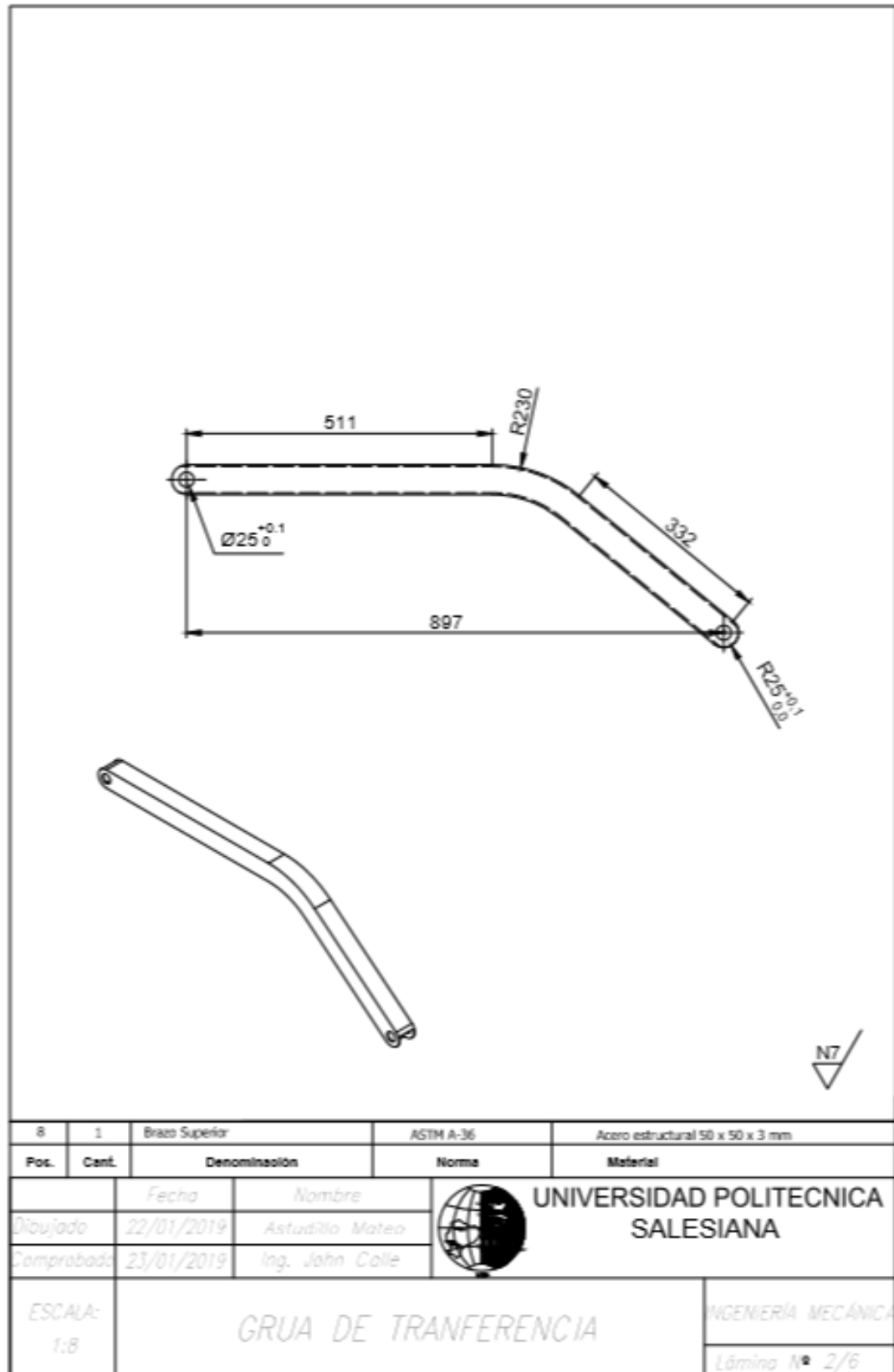
NIÑOS, NIÑAS, ADOLESCENTES y PCD	EDAD	PESO	TALLA	TIPO DE DISCAPACIDAD	PORCENTAJE DE DISCAPACIDAD	GRADO DE DISCAPACIDAD
CASA ALEGRÍA						
1	6 años	18.8 kg	1.04 cm	Psicosocial.	72%	Grave. Dependencia leve.
2	10 años 10 meses	28.5 kg	1.16 cm	Intelectual.	81%	Muy Grave. Dependencia Leve
3	10 años 2 meses	17.7 kg	1.21 cm	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
4	17 años	50.0 kg	1.45 cm	Física.	90%	Grave. Total Dependencia.
5	17 años 2 meses	37.7 kg	1.42 cm	Física.	90%	Muy Grave. Total Dependencia.
6	17 años 5 meses	48.9 kg	1.31 cm	Física.	85%	Muy Grave. Total Dependencia.
7	16 años 4 meses	20.5 kg	1.15 cm	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
8	28 años	36.6 kg	1.31 cm	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
9	5 años 9 meses	18.1 kg	1.09 cm	Física.	81%	Muy Grave. Total Dependencia.
10	11 años	21.1 kg	1.19 cm	Intelectual.	84%	Muy Grave. Total Dependencia.
CASA ESPERANZA - MILAGROS						
1	21 años 9 meses	44.2 kg	1.39 cm	Física.	90%	Muy Grave. Depend. Moderada
2	19 años 2 meses	38.6 kg	1.47 cm	Física.	85%	Muy Grave. Total Dependencia.
3	17 años 4 meses	46.9 kg	1.31 cm	Física.	90%	Muy Grave. Total Dependencia.
4.	21 años 9 meses	23.0 kg	1.23 cm	Física.	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
5	22 años 2 meses	25.1kg	1.47 cm	Intelectual	95%	Muy Grave. Total Dependencia.
6	19 años 6 meses	45.9 kg	1.45 cm	Física.	75%	Muy Grave. Depend. Moderada
7	22 años	74.5 kg	1.80 cm	Psicosocial	85%	Muy Grave. Dependencia Grave.
8	25 años 9 meses	47.7 kg	1.39 cm	Física.	85%	Muy Grave. Dependencia Grave.
9	17 años 6 meses	52.6 kg	1.42 cm	Física.	75%	Muy Grave. Dependencia Leve
10	10 años	34.5 kg	1.30 cm	Intelectual	60%	Grave. Total Independencia
11	9 años 4 meses	24.5 kg	1.23 cm	Intelectual	84%	Muy Grave. Total Dependencia.

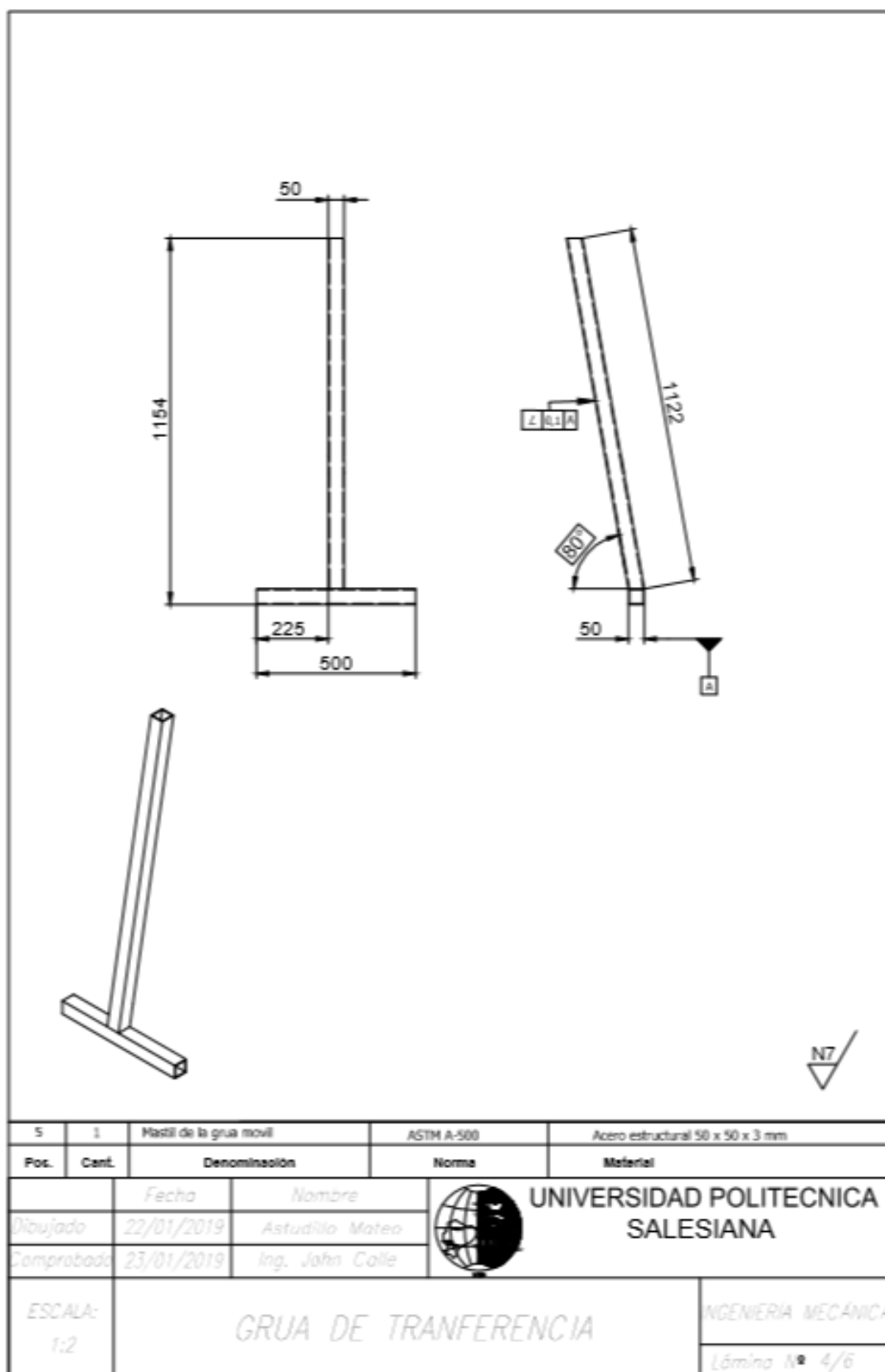
DIAGNÓSTICO MEDICOS DE LOS NNA Y PCD.
CASA ALEGRÍA

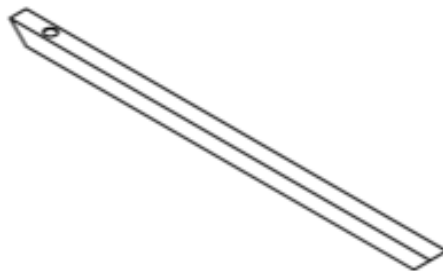
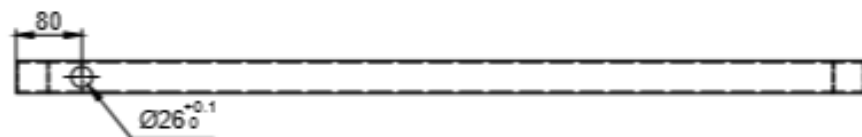
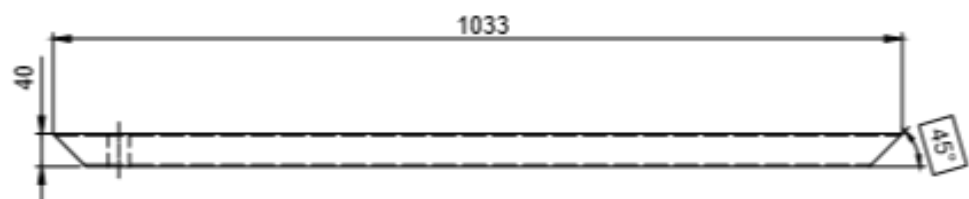
PACIENTE	DIAGNÓSTICOS
1	Trastorno del Espectro Autista Leve. Retraso global severo del Neurodesarrollo. Desnutrición crónica con Microcefalia relativa. Cofosis Oído derecho y Hipoacusia severa Izquierda (mantienen el uso de audífonos).
2	Hipotiroidismo Congénito. Desnutrición Crónica. Talla baja. Estrabismo divergente. Astigmatismo. Hipoacusia Neurosensorial Bilateral: Oído Derecho Leve, Oído Izquierdo Moderado (mantiene uso de Audífonos). Retraso mental moderado.
3	Parálisis Cerebral Infantil. Tetraparesia Espástica a predominio de miembros inferiores. Retardo Mental Severo. Desnutrición Crónica. Agenesia de cuerpo calloso. Escoliosis secundaria. Gastrotomizado. Epilepsia Focal. Neumopatía por aspiración.
4	Parálisis Cerebral. Hemi megacencefalia. Hemiplejía Espástica. Epilepsia Focal Sintomática de difícil control motor.
5	Parálisis Cerebral. Tetraparesia Espástica. Retardo Mental Severo. Epilepsia mixta estructural. Trastorno de Conducta.
6	Esclerosis Tuberosa con compromiso en el SNC que asocia Tubers Corticales, Nódulos Subependimarios, Calcificaciones múltiples, Hamartomas a nivel facial. Tetraparesia Espástica. Epilepsia focal estructural en remisión. Retraso mental severo.
7	Parálisis Cerebral. Tetraparesia Espástica. Microcefalia. Encefalopatía crónica no evolutiva que asocia Retardo mental severo; Epilepsia focal sintomática. Hidrocefalia con válvula derivativa ventrículo peritoneal. Retraso mental no cuantificado. Gastrotomizado.
8	Parálisis cerebral espástica. Retraso mental no cuantificado. Diplejía
9	Parálisis Cerebral Espástica. Epilepsia. Retraso global severo del neurodesarrollo. Luxación de cadera Izquierda.
10	Parálisis Cerebral Espástica. Epilepsia mixta sintomática. Trastorno del desarrollo cortical. Retraso mental severo. Gastrotomizado. Luxación de caderas.

CASA ESPERANZA - MILAGROS	
1	Parálisis Cerebral. Tetraparesia Espástica. Microencefalia. Síndrome dismórfico. Síndrome alcohólico fetal. Retraso mental no cuantificado.
2	Parálisis Cerebral. Tetraparesia Espástica. Hipoplasia de Cuerpo Calloso. Esquizencefalia de Labios Abiertos y Linsencefalia. Microcefalia. Trastorno de conducta, Retraso mental no cuantificado.
3	Trastorno del Espectro Autismo severo. Retraso Mental Profundo. Parálisis Cerebral. Tetraparesia Espástica. Catarata Congénita, Nistagmus Pendular, Atrofia Óptica Bilateral, debido a infecciones prenatales del espectro Torch y Epilepsia. Microcefalia. Trastorno de conducta.
4	Parálisis Cerebral. Tetraparesia Espástica. Retraso Mental Profundo. Microcefalia. Mala Conducta Visual de etiología a seguir. Escoliosis secundaria. Gastrotomizada. Epilepsia generalizada estructural.
5	Parálisis cerebral, Tetraparesia espástica; Microcefalia; Retardo mental no cuantificado; Rotoescoliosis dorsal derecha y lumbar izquierda; Hidrocefalia más válvula derivativa ventrículo peritoneal (V-P); Gastrotomizado. Oxígeno dependiente. Neumopatía por aspiración. Rinitis crónica, Macroglosia, Síndrome de Apnea Obstructiva (SAOS).
6	Parálisis Cerebral Extrapiramidal espástica; Microcefalia. Retraso mental no cuantificado, Vicio de refracción.
7	Trastorno Autista Severo; Retraso mental no cuantificado, Epilepsia focal sintomática.
8	Parálisis Cerebral Extrapiramidal; Retraso Mental no cuantificado; Epilepsia focal sintomática bajo tratamiento. Trastorno de la conducta, Trastorno de la deglución.
9	Parálisis Cerebral Espástica a predominio de Hemicuerpo derecho, secundaria a Esquizencefalia a Labios abiertos; Quemadura deformante de mano derecha. Enfermedad de Little, Retraso mental no cuantificado.
10	Encefalopatía crónica no evolutiva secundaria a Esquizencefalia a labios cerrados temporal derecha, (con características de un Trastorno del Espectro Autista Leve secundario a su patología de origen neurológico). Hipoplasia de cuerpo calloso, displasia cortical bifrontal, retraso madurativo especialmente en lenguaje expresivo.
11	Parálisis Cerebral Espástica, Microcefalia. Hipotiroidismo. Epilepsia Mixta estructural. Luxación bilateral de cadera, Retraso mental profundo. Neumopatía por aspiración. Rinitis crónica.

ANEXO VI. Planos.

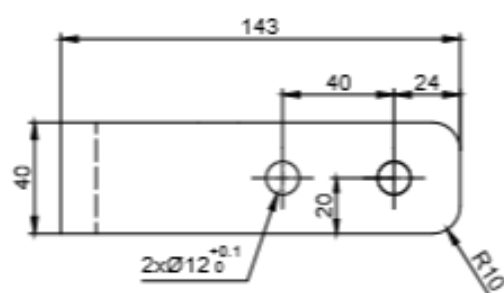
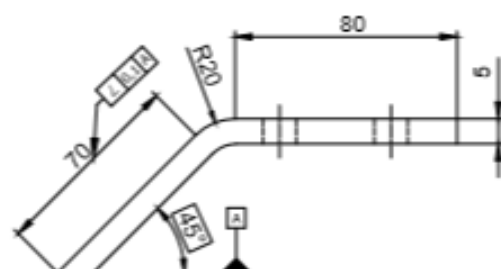






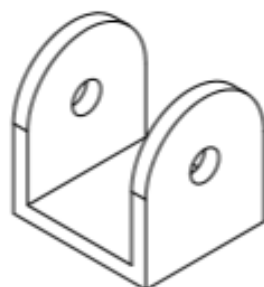
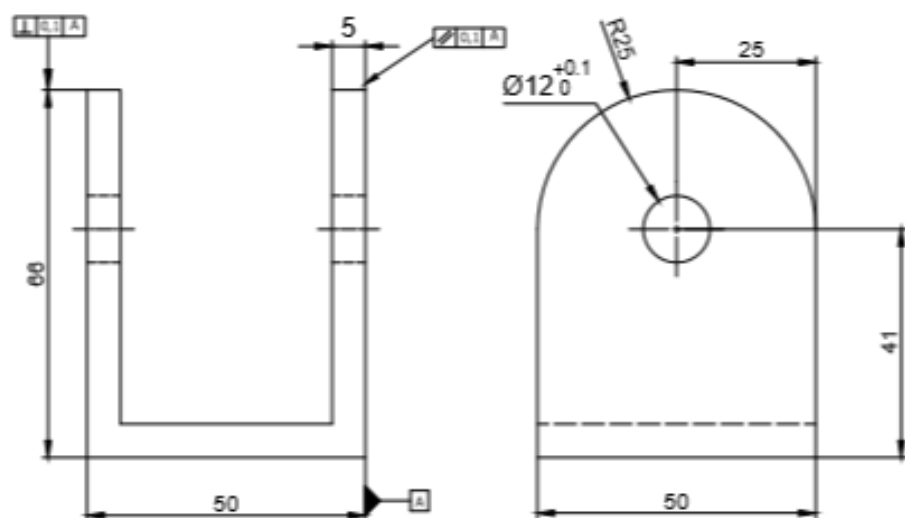
N7

1	2	Brzo inferior	ASTM A-500	Acero estructural 40 x 40 x 3 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Materia
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Dibujado	22/01/2013	Astudillo Mateo		
Comprobado	23/01/2013	Ing. John Calle		
ESCALA: 1:2	GRUA DE TRANSFERENCIA			INGENIERIA MECANICA
				Lámina N° 1/6



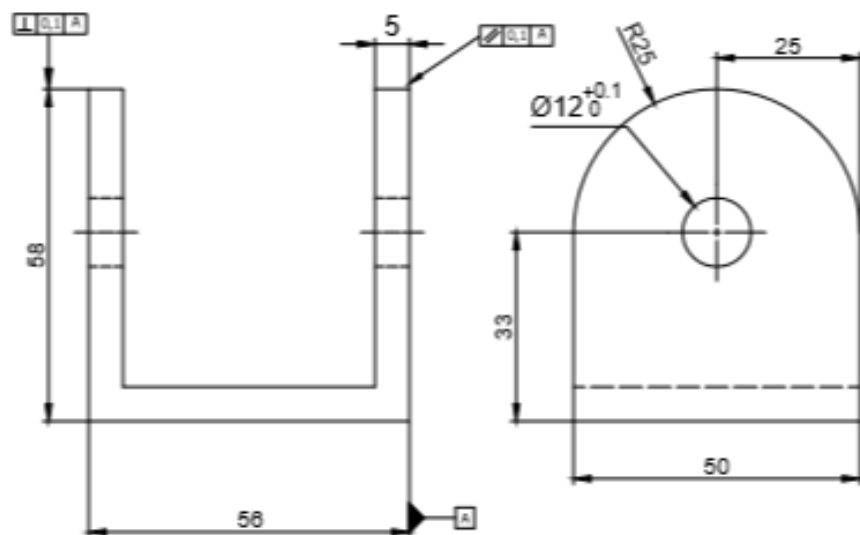
N7

2	4	Platinas de las ruedas	ASTM A-36	Platina 40 x 9 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Materia
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Dibujado		22/01/2019	Astudillo Mateo	
Comprobado		23/01/2019	Ing. John Calle	
ESCALA: 1:2		GRUA DE TRANSFERENCIA		INGENIERÍA MECÁNICA
				Lámina N° 2/6



N7

6	2	Elemento de soporte para actuador		ASTM A-36	Platina 50 x 3 mm
Pos.	Cent.	Denominación		Norma	Materia
		Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Dibujado		22/01/2019	Astudillo Mateo		
Comprobado		23/01/2019	Ing. John Calle		
ESCALA: 1:1		GRUA DE TRANSFERENCIA			INGENIERIA MECANICA
					Lámina N° 5/6



N7/

4	3	Elemento de soporte	ASTM A-36	Platina 50 x 3 mm
Pos.	Cant.	Denominación	Norma	Material
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Dibujado	22/01/2019	Astudillo Mateo		
Comprobado	23/01/2019	Ing. John Calle		
ESCALA: 1:1	GRUA DE TRANSFERENCIA			INGENIERÍA MECÁNICA
				Lámina N° 3/6