



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO SUSTENTABLE DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO PARA TRASLADO DE PACIENTES

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A

MOISÉS ARRATIA MÉNDEZ

TUTOR

Dr. VICENTE BORJA RAMÍREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2013



Presidente: **Dr. Arturo Barba Pingarrón**

Vocal: **Dr. Vicente Borja Ramírez**

Secretario: **Dr. Adrián Espinoza Bautista**

1er Suplente: **M.I. Carlos Alberto González Rodríguez**

2o Suplente: **M.I. Nelly Medina Molotla**

TUTOR DE TESIS:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

FIRMA

“El trabajo del pensamiento se parece a la perforación de un pozo: el agua es turbia al principio, más luego se clarifica”

Proverbio chino

Agradecimientos

Mis más grandes agradecimientos a todas las personas que me han enseñado distintas cosas a través del camino que culmina con este trabajo.

A mis padres: “muchas gracias” no describe lo agradecido que estoy con ustedes por todo lo que me han dado y enseñado, ustedes lograron formar parte del hombre que ahora soy y sé con certeza que están orgullosos de mi, pero mucho del crédito de mis logros es debido a ustedes.

A mis hermanos: Ustedes son el complemento de lo que nuestros padres lograron conmigo, me han enseñado muchas cosas que me han y seguirán sirviendo en la vida, ustedes son una inspiración para mí en muchos aspectos y son de las personas que más admiro en el mundo.

A mis amigos: he pasado muchos momentos junto a ustedes que sin importar si fueron buenos o malos siempre aprendí algo de cada uno. Gracias por ser sinceros cuando se necesitó, por el apoyo brindado, por los momentos de estudio y los de esparcimiento que compartimos. En especial muchas gracias a Erick, a su hermana Tania y a su mamá Paty que me han apoyado como si fuésemos la misma sangre. También a Ángel Vidal el cual ha sido un gran ejemplo en mi vida y un hermano de toda la vida. Y por último y no por ello menos importante, a Angélica mi compañera desde hace 6 años, que me ha enseñado muchas cosas de mí mismo y ha corregido otras para bien.

A mi universidad y profesores: Mi segunda casa, el orgullo de ser universitario es un privilegio que pocos gozamos y que por ello tengo el deber de enaltecer su nombre. Gracias a todos los profesores con los que he convivido en esta institución, desde el profesor que nunca se aprendió mi nombre hasta el que llegue a admirar. En especial a mi tutor de tesis el Dr. Vicente Borja que brindo muchos consejos y apoyo cuando fue necesario.

Mis agradecimientos al patrocinio del programa UNAM – DGAPA – PAPIIT – IT03012 y UNAM – DGAPA – PAPIIT – IN118810-2.

El eterno agradecimiento que siento para todos los que me acompañaron en mi camino como universitario supera las palabras. Ésta fue la mejor etapa de mi vida y en la que aprendí que con esfuerzo, dedicación y sobre todo con paciencia, puedo alcanzar mis metas.

¡¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!!

Índice

	Objetivo	4
	Introducción	4
	Capítulo 1. Antecedentes	6
1.1	Consideraciones generales	6
1.2	Técnicas de movilización y traslado	6
1.3	Traslado de un paciente utilizando una grúa	7
1.4	Grúas para pacientes	7
1.5	Sustentabilidad	8
	Capítulo 2. Definición del Problema	12
2.1	Objetivo	12
2.2	Alcances	12
	Capítulo 3. Recopilación de información	14
3.1	Definición de necesidades y especificaciones	14
3.2	Estudio comparativo	18
	Capítulo 4. Diseño conceptual	21
4.1	Selección del diseño	24
	Capítulo 5. Diseño de detalle	25
5.1	Selección del material	25
5.2	Modelado del prototipo en 3D	26
5.3	Simulación de partes críticas	27
5.4	Lista de partes del dispositivo	30
	Capítulo 6. Manufactura y pruebas del prototipo	32
6.1	Pruebas del prototipo en la Facultad de ingeniería	32
6.2	Prueba del prototipo en el hospital del IMSS	34
	Capítulo 7. Segunda versión del prototipo	36
7.1	Rediseño del prototipo	36
7.2	Manufactura del prototipo 2	37
7.3	Pruebas del prototipo 2 en la Facultad de Ingeniería	38
7.4	Pruebas del prototipo 2 en el hospital del IMSS	39
	Capítulo 8. Análisis de sustentabilidad	42
	Conclusiones	45
	Comentarios finales	47
	Bibliografía	48
	ANEXOS	
ANEXO 1	Técnicas de movilización	50
ANEXO 2	Técnicas de traslado	52
ANEXO 3	Formas de colocación de un arnés para grúa	54
ANEXO 4	Encuesta realizada a pacientes del Hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro	56
ANEXO 5	Imágenes de las grúas del estudio comparativo (tabla 3.5)	57
ANEXO 6	Planos de partes no comerciales	59
ANEXO 7	Planos de partes no comerciales del Prototipo 2	69
ANEXO 8	Tipos de impactos ecológicos utilizados por <i>Sustainable Minds</i>	72

Objetivo

Diseñar y construir un prototipo de dispositivo para traslado de pacientes con problemas de movilidad, considerando aspectos de sustentabilidad del mismo.

Introducción

El sector salud es uno de los más importantes en cualquier país, ya que es el que se encarga de proteger la integridad física y mental de la sociedad. Por esta razón es necesario que cuente con la infraestructura y equipo necesario para atender eficientemente a cada paciente a su cargo.

Muchas de las actividades que se realizan en los hospitales están relacionadas directamente con el traslado del paciente a distintas áreas del hospital, como por ejemplo cuando el paciente requiere terapia física o un baño. Si el paciente no es capaz de trasladarse por sus propios medios es necesario que sea llevado en una silla de ruedas o en una camilla hasta el lugar deseado. Por este motivo se requiere personal capacitado para mover al paciente sin lastimarlo y sin recibir daño al cargar al paciente.

Dependiendo del paciente, se requiere de dos a tres camilleros para el traslado del mismo. En ocasiones el personal dedicado a este tipo de tareas es insuficiente ya que, por ejemplo, en un hospital de rehabilitación, es necesario trasladar a todos los pacientes a la misma hora a la zona de terapia física, lo que provoca que los pacientes tengan que esperar cierto tiempo para ser trasladados a la zona indicada. Otro aspecto a considerar es el cansancio de los camilleros, como trasladan a todos los pacientes de un lugar, su rendimiento físico va decreciendo del primer paciente hasta el último, lo que puede ocasionar que al cargar a un paciente no lo hagan de la forma correcta.

Considerando estos aspectos, una solución factible es la utilización de un dispositivo para el traslado de pacientes el cual pueda ser operado por una sola persona mediante un mecanismo simple.

El dispositivo debe ser diseñado considerando aspectos de sustentabilidad pues debe mejorar la calidad de servicio que reciben los pacientes en un hospital, sin que las futuras generaciones estén afectadas por el daño al ambiente que este dispositivo pueda representar en el futuro, lo cual es el principio básico de la sustentabilidad. Además la sustentabilidad se enfoca también en que los objetos diseñados deben de ser simples y por lo tanto económicos sin comprometer la funcionalidad y duración.

Esta tesis reporta el desarrollo de un proyecto enfocado en el diseño y la construcción de un prototipo de dispositivo de traslado para un paciente con la incapacidad de trasladarse por sí

solo. El proyecto se realizó en conjunto con Javier Castañeda Tenango estudiante de maestría de la Facultad de Ingeniería.

Los capítulos de esta tesis están relacionados directamente con el orden en que se desarrolló el proyecto, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno:

- Capítulo 1. Antecedentes: este apartado presenta algunas generalidades de la movilización y traslado de pacientes, una descripción general de las grúas existentes en el mercado y una breve aproximación a lo que respecta a sustentabilidad.
- Capítulo 2. Definición del problema: aquí se presenta el problema en el cual se enfoca el proyecto, también se presenta el objetivo y los alcances de éste.
- Capítulo 3. Recopilación de información: presenta la definición de necesidades y especificaciones del prototipo y un estudio comparativo de las grúas existentes en el mercado.
- Capítulo 4. Diseño conceptual: aquí se presentan los diseños más factibles que se consideraron para el proyecto y la selección de uno de éstos para la construcción del prototipo.
- Capítulo 5. Diseño de detalle: este apartado presenta la selección de material del prototipo, el análisis de las partes críticas y las partes por las que éste se conforma.
- Capítulo 6. Manufactura y pruebas del prototipo: aquí se describe la forma en que se realizó el prototipo y las herramientas utilizadas, también se presentan las pruebas realizadas al prototipo terminado y los resultados.
- Capítulo 7. Segunda versión del prototipo: en este apartado se presenta el rediseño del primer prototipo y la manufactura y pruebas del prototipo 2.
- Capítulo 8. Análisis de sustentabilidad: aquí se presenta el análisis de sustentabilidad realizado al prototipo final.

Capítulo 1. Antecedentes

La movilización y traslado de pacientes con algún tipo de discapacidad física es una actividad necesaria en todos los hospitales por lo que es muy importante que ésta se realice por personal capacitado correctamente. La movilización se refiere al cambio de posición en un mismo lugar y el traslado es el cambio de un lugar a otro.

1.1 Consideraciones generales

Existen diferentes causas por las que se hace necesario movilizar un paciente, por ejemplo el cambio de posición en el lugar que se encuentra; traslado a un vehículo; traslado del lecho a silla de ruedas; traslado al sanitario; traslado de una cama a otra cama o camilla; traslado desde una cama o camilla a una silla y viceversa.

Para efectuar cualquiera de las maniobras de movilización mencionadas, se deben tener en cuenta varios aspectos:

- Conocer el estado general del paciente, es decir, causas por las que se encuentra en cama, grado de comprensión o entendimiento que el paciente posee para recibir y ejecutar indicaciones que se le indiquen, grado de colaboración, etc.
- Verificar su estabilidad observando la limitación de movimientos por existencia de férulas, yesos, canalizaciones, patologías óseas, así como tendencias a inclinarse hacia un costado, mareos, u otras causas que afecten su estabilidad.
- Comprobar la fuerza que posee o la resistencia que ofrece al movimiento el paciente.
- Considerar si se cuenta con un paciente activo (que requiere solo una asistencia parcial), o pasivo (que no puede valerse por sí mismo)¹.

1.2 Técnicas de movilización y traslado

Los cambios posturales son las modificaciones realizadas en la postura corporal de un paciente, tienen como objetivo alterar las áreas de presión, evitar la aparición de contracturas, deformidades, lesiones en la piel y favorecer la comodidad y bienestar del paciente, también se utilizan para prepararlos para el traslado a una silla o camilla. Algunas técnicas de movilización se muestran en el ANEXO 1.

El traslado es el desplazamiento del paciente de un lugar a otro y puede realizarse en la cama, en camilla, en silla de ruedas, etc. Cuando el camillero traslada a un paciente, debe

¹ Díez García, Miguel Ángel. *Técnicas de movilización y traslado de pacientes en general* [en línea]. Hospital de Medina del Campo aula de formación, España. Mayo 9 de 2011. Página 6. Disponible en World Wide Web: <http://issuu.com/maisaguevara/docs/tecnicas_de_movilizacion_y_traslado_de_paciente_de>

hacerlo con profesionalidad, proporcionándole seguridad y bienestar. Algunas técnicas de traslado se muestran en el ANEXO 2.

1.3 Traslado de un paciente utilizando una grúa

El traslado de pacientes puede significar, para los encargados de esta tarea, lesiones de columna, también representa cierto riesgo de agravio para los pacientes ya que si el camillero no está correctamente capacitado o no se encuentra en las condiciones físicas necesarias para el trabajo, la integridad física del paciente y el camillero se encuentran en riesgo potencial. Para evitar lesiones en los camilleros y pacientes existe un elemento auxiliar del que dispone el personal sanitario para movilizar al paciente con la mayor seguridad y menor riesgo de lesiones para él y para sus cuidadores. La finalidad de la grúa es movilizar a los pacientes que requieren ayuda parcial o total con menor esfuerzo y riesgo de lesiones para el personal sanitario y el paciente².

Las grúas para movilización de pacientes cuentan con un arnés el cual debe ser colocado al paciente para levantarlo. Las ventajas de las grúas son principalmente que puede ser operada por una sola persona, es fácil de utilizar y como se mencionó anteriormente, reduce el riesgo de lesiones en camilleros y pacientes al realizar la movilización y posterior traslado. Existen distintas formas de colocar un arnés a un paciente para trasladarlo en una grúa, el ANEXO 3 nos muestra las más comunes.

1.4 Grúas para pacientes

Actualmente existe una amplia gama de grúas para pacientes en el mercado, sin embargo hay pocas variantes de los sistemas de accionamiento de las grúas. La principal diferencia es el precio el cual depende de la marca y la calidad de los materiales de la grúa, también influye la zona de distribución de la misma, por ejemplo en México Distrito Federal solo se encuentran 3 marcas de grúas y sus costos van desde los \$12,000.00 hasta los \$28,000.00 pesos.

Existen 3 tipos de accionamiento de las grúas los cuales son: motor eléctrico, pistón hidráulico automático y pistón hidráulico manual. A continuación se presentan ejemplos de representativos de cada uno de los sistemas de accionamiento de las grúas.

² Smith-Temple J, Young J. *Guía de Procedimientos para enfermeras*. Editorial Panamericana.1995.



Figura 1.10 Grúa hidráulica manual, grúa con motor eléctrico y grúa hidráulica automática.

Otra característica importante es la capacidad de carga de las grúas la cual es en promedio 200 Kg. sin embargo hay grúas para pacientes que cargan hasta 300 Kg.

Es importante mencionar que también existen otro tipo de grúas distintas a las mencionadas anteriormente y son las de rieles o de techo, las cuales funcionan con un motor eléctrico. El diseño en el que se basa este trabajo es el de las grúas más comunes las cuales son las que van en el suelo.

1.5 Sustentabilidad

El desarrollo sustentable fue introducido en la década de 1970 y trajo una nueva perspectiva para resolver el conflicto entre la conservación del medio ambiente y el desarrollo para cubrir las necesidades de la gente³.

El desarrollo sustentable indica que es posible progresar simultáneamente en el aspecto económico, social y ambiental en pro de las necesidades humanas del presente, permitiendo que las generaciones futuras hagan lo mismo. Esto es posible si se logra un equilibrio entre los tres aspectos del desarrollo sustentable. En el contexto ambiental, el desarrollo sustentable enfatiza la habilidad de la naturaleza para reabastecer los recursos consumidos y la capacidad del medio ambiente para controlar la generación de desechos, absorbiéndolos⁴.

³ Chye Ing Lim. *Sustainable Manufacturing Portal* [en línea]. Universidad de Loughborough, Reino Unido. 2009. Disponible en World Wide Web: <<http://www.centreforsmart.co.uk/smp/index.php>>

⁴ *Idem*.



Figura 1.11 Sustentabilidad.

Este proyecto se enfoca a tener un impacto social, a mejorar las condiciones con las que los pacientes son trasladados y, al mismo tiempo, cuidar de la integridad física de los camilleros. Todo esto se puede lograr con un producto que sea viable económicamente y que tenga un reducido impacto en el medio ambiente, es decir, sustentable.

Una manera de de construir un dispositivo sustentable es creando a partir del ciclo de vida del producto, éste se refiere a todos los procesos por los cuales el producto debe pasar desde su creación hasta que deja de funcionar. El ciclo de vida de un producto se refiere a las siguientes etapas:

- **Diseño del producto:** Las decisiones tomadas durante el diseño del producto son factores clave para el consumo de los recursos y el patrón de generación de residuos durante todo el ciclo de vida del producto.
- **Selección de materiales:** Uno de los conceptos clave del desarrollo sustentable es la conservación de los recursos, es decir para ralentizar la tasa de extracción de recursos y avanzar hacia un patrón de consumo de ciclo cerrado. La selección de materiales para un producto afecta la cantidad de recursos naturales consumidos y si estos recursos pueden ser recuperados al final de la vida útil de éste.
- **Manufactura y producción:** Aspectos ambientales en la fabricación y producción suelen ser el centro de la industria, ya que es la etapa más regulada. La sustentabilidad en la fabricación y producción se podría lograr a través de la gestión y mejora de la tecnología de procesos.
- **Utilización del producto:** El impacto ambiental de un producto durante su ciclo de vida es comúnmente olvidado por el fabricante. Los aspectos de la fase de uso se deben principalmente a los consumos de transporte, energía y consumibles durante toda la vida del producto.
- **Fin del ciclo de vida:** El impacto ambiental al final de la vida útil del producto ha sido un gran problema a nivel mundial debido a los crecientes residuos en los vertederos. La práctica tradicional de fabricación donde "el trabajo ha terminado" después de la entrega del producto ya no se aplica. El fabricante debe encargarse

del producto cuando su ciclo de vida llegue al final encargándose de su reciclaje o la forma correcta de desecharlo⁵.

A lo largo de las últimas décadas, varias metodologías de diseño sustentable y ecodiseño se han creado y puesto en práctica. Estas metodologías tienen el propósito de generar productos y procesos que permitan satisfacer las necesidades de las personas en la actualidad sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, preservando el medio ambiente o minimizando el impacto que se tiene sobre éste⁶.

Cualquier proceso de diseño de producto consta de una estructura básica conformada por las siguientes etapas generales: planeación, desarrollo de concepto, desarrollo a nivel sistema, diseño de detalle, pruebas y refinamiento y producción. La etapa de desarrollo de concepto es donde se establecen especificaciones que permiten definir un producto con base en las necesidades del cliente y el mercado.

Pahl y Beitz⁷ indican que las especificaciones de un producto pueden clasificarse en 17 categorías generales. Es posible clasificar las especificaciones provenientes de los principios de diseño sustentable en estas categorías. El resultado de dicha clasificación se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación de especificaciones de ecodiseño en las categorías de Pahl y Beitz⁸.

Categoría de especificación	Ejemplos	Especificación proveniente de principios de ecodiseño
<i>Geometría</i>	Tamaño, altura, longitud, requerimientos de espacio, conexión, extensión, etc.	NA
<i>Cinemática</i>	Tipo de movimiento, dirección del movimiento, velocidad, aceleración, etc.	NA
<i>Fuerzas</i>	Dirección de la fuerza, magnitud, frecuencia, resistencia, carga, deformación, elasticidad.	NA
<i>Energía</i>	Eficiencia, fricción, presión, temperatura, calentamiento, enfriamiento, almacenamiento.	Capacidad de renovación Cantidad Intensidad Disponibilidad local Eficiencia

⁵ Chye Ing Lim. *Sustainable Manufacturing Portal* [en línea]. Universidad de Loughborough, Reino Unido. 2009. Disponible en World Wide Web: < <http://www.centreforsmart.co.uk/smp/lcsm.php>>

⁶ Lozada Bastida, Ricardo. "Revisión de principios de ecodiseño e integración al diseño conceptual". Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM 21 al 23 de septiembre, 2011 San Luis Potosí, México. Disponible en Word Wide Web: < http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2011/pdfs/A1/A1_104.pdf>

⁷ Pahl G., Beitz, W. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Tercera edición. Alemania, 2007.

⁸ Lozada Bastida, Ricardo. "Revisión de principios de ecodiseño e integración al diseño conceptual". Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM 21 al 23 de septiembre, 2011 San Luis Potosí, México. Disponible en Word Wide Web: < http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2011/pdfs/A1/A1_104.pdf>

		Análisis de flujo de energía.
<i>Material</i>	Flujo y transporte de materiales, propiedades químicas y físicas del producto inicial y final, materiales auxiliares etc.	Cantidad Trazabilidad de origen Energía contenida en la material Toxicidad Capacidad de renovación Disponibilidad local Análisis de flujo de materia
<i>Señales</i>	Entradas, salidas, equipo de control.	NA
<i>Seguridad</i>	Operacional, medioambiental, etc.	Toxicidad
<i>Ergonomía</i>	Relación hombre – máquina, tipo de operación, iluminación, disposición de equipo, etc.	NA
<i>Producción</i>	Limitaciones de fabricación, dimensiones máximas de fabricación, tolerancias, desperdicio, etc.	Análisis de materia y energía del proceso productivo.
<i>Ensamble</i>	Medición y prueba, normatividad especial.	Modularidad Estandarización
<i>Transporte</i>	Medio de transporte, embalaje, condiciones de envío.	Optimización al entorno de trabajo
<i>Operación</i>	Medio de operación, desgaste, etc.	Durabilidad
<i>Mantenimiento</i>	Intervalos de servicio, inspección, reparación, limpieza, etc.	Facilidad de reparación Facilidad de servicio
<i>Reciclaje</i>	Reuso, desperdicio, reciclaje, almacenamiento, etc.	Reusabilidad de material Capacidad de reciclaje Capacidad de biodegradación
<i>Costos</i>	Costos de parte, herramienta, inversión, depreciación, etc.	NA
<i>Calendario</i>	Planeación de proyecto, fechas de entrega, etc.	Diseño concurrente

Con base en la tabla 1.1, puede observarse que las especificaciones extraídas de los principios de ecodiseño forman un subconjunto de las categorías de generales. Mediante el análisis de las especificaciones de un producto y la identificación de aquellas que forman el subconjunto que impacta en la sustentabilidad (e identificación de especificaciones faltantes) sería posible determinar la sustentabilidad de un producto, para así proceder a mejorar estos atributos⁹.

⁹ Lozada Bastida, Ricardo. "Revisión de principios de ecodiseño e integración al diseño conceptual". Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM 21 al 23 de septiembre, 2011 San Luis Potosí, México. Disponible en Word Wide Web: <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2011/pdfs/A1/A1_104.pdf>

Capítulo 2. Definición del Problema

El cuidado de los pacientes en cualquier hospital incluye la necesidad de movilizarlos para poder trasladarlos a otras zonas del hospital e incluso a otra parte de la habitación, como por ejemplo a un sillón o al sanitario. Esta actividad debe ser realizada por personal capacitado con los conocimientos necesarios para movilizar a un paciente sin dañar la integridad física del paciente o el encargado de la actividad.

En ocasiones el hospital no cuenta con el personal necesario para cubrir el traslado de todos los pacientes cuando es requerido, es decir, algunos pacientes tienen que esperar mucho tiempo para ser movilizados o trasladados. Una solución a este problema es que los encargados de la movilización de pacientes cuenten con un dispositivo que los ayude en su tarea, logrando que tarden menos tiempo en cada traslado y por tanto el tiempo de espera de cada paciente se vea reducido considerablemente.

En la actualidad existen dispositivos dedicados al traslado de pacientes que pueden ser utilizados en el hogar o en los hospitales, sin embargo el precio es alto para el sector público.

2.1 Objetivo

Por lo anterior mencionado, es necesario un diseñar y construir un dispositivo que cumpla con la función de traslado y que, sin disminuir la calidad y funcionalidad, sea mucho más económico que los que existen en el mercado.

2.2 Alcances

Para lograr el diseño y construcción de una grúa que cumpliera con los requerimientos indicados se dividió el proyecto en las siguientes fases:

- Definición de necesidades: en esta fase se realizaron encuestas a varios pacientes del hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro, para detallar las necesidades del cliente y con base en éstas definir las especificaciones del prototipo de dispositivo para traslado de pacientes.
- Estudio comparativo: en esta fase, por medio de internet, se revisaron varias grúas disponibles en el mercado de distintos países para comparar precios, diseño y capacidad de carga de las mismas.
- Proposición y selección de conceptos: basados en las grúas existentes se propusieron varias opciones de diseño con variaciones en los sistemas de

accionamiento y en la estructura principal de la grúa. Después se eligió el diseño con base en la innovación y funcionalidad.

- Diseño de detalle: se modeló la estructura principal del prototipo en computadora y se hicieron análisis de esfuerzos en zonas críticas de la estructura.
- Selección de materiales: pensando en la sustentabilidad se eligió un material resistente, económico y que al final de su ciclo de vida útil no afecte al ambiente.
- Fabricación y ensamble: se maquinaron las partes necesarias del prototipo y se ensamblaron para realizar pruebas de funcionalidad.
- Evaluación de sustentabilidad: se realizó el análisis de sustentabilidad al prototipo.

Capítulo 3. Recopilación de información

3.1 Definición de necesidades y especificaciones

De acuerdo con varias encuestas (ANEXO 4) realizadas en el hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro se definieron las necesidades del cliente que en este caso son los pacientes. Los enunciados más comúnmente realizados por los pacientes se interpretaron para obtener las necesidades del cliente y se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Interpretación de las necesidades del cliente.

Enunciado del paciente	Interpretación
Necesito moverme frecuentemente de mi cama para ir a rehabilitación o al baño	El dispositivo debe trabajar frecuentemente, debe ser de bajo costo para que exista la posibilidad de la adquisición de varios de ellos
Espero mucho tiempo por alguien que venga a ayudarme a bajarme de la cama	El dispositivo debe ser fácil de utilizar para que este siempre disponible
Le gustaría que fueran resistentes, que brinden comodidad, que sean amplias y se adapten a los espacios en los que se va a utilizar	El dispositivo debe ser cómodo y resistente, debe de adaptarse a los espacios donde se va a utilizar
Le gustaría un dispositivo resistente para soportar su peso, pero que a la vez sea cómodo para ya no sufrir más daños, que esté disponible a todas horas para no esperar mucho tiempo	El dispositivo debe soportar cierto rango de peso y proporcionar confort al usuario
Se imagina un aparato con ruedas, que ayude a la persona a hacer una vida cotidiana dentro del hospital (adaptable a distintas funciones) pero menciona que le agradaría un dispositivo adaptable a sillas de ruedas	El dispositivo debe poder trasladarse fácilmente y adaptable a una silla de ruedas
Dispositivo pequeño, adaptable a diferentes situaciones para facilitar la vida en el hospital, que cargue a la persona sin causar más daños (Configuración de silla, variable en altura, tipo montacargas)	El dispositivo debe ser pequeño, ligero, practico y cómodo
Se imagina un dispositivo que permita diferentes posiciones para la comodidad del usuario, que cargue al paciente de puntos específicos para no causar daños	El dispositivo debe ser adaptable a la comodidad del usuario
Se imagina una grúa eléctrica, adaptada en el techo, que cargue al paciente con las mismas sabanas de la cama y que sea fácil de usar por los familiares.	El dispositivo debe permitir ser operado por una persona con la mínima capacitación

Aunado a esto hay que considerar el mantenimiento del prototipo ya que es un aspecto importante que influirá directamente en la vida útil del mismo, no debe requerir de muchos cuidados especiales al momento de ser limpiado, ya que en un hospital todo debe ser aseado muy frecuentemente.

Otro aspecto a considerar son las dimensiones del prototipo pues es importante que éste pueda moverse fácil y libremente por los espacios con que el hospital cuenta. También hay que tomar en cuenta los tipos de traslado para el diseño del prototipo, es decir, cama-silla de ruedas y viceversa, cama-camilla y viceversa, cama-baño y viceversa, silla de ruedas-camilla y viceversa, silla de ruedas baño y viceversa, por lo tanto hay que considerar las dimensiones del mobiliario. La tabla 3.2 muestra las dimensiones a considerar para el diseño del prototipo.

Tabla 3.2 Dimensiones a considerar.

Espacio a considerar	Dimensiones [m]
Pasillos	1.80 ancho, 2.50 alto
Puertas	1.00 ancho, 2.10 alto
Cuarto	3.20 ancho, 3.00 largo, 2.30 alto
Camilla	0.80 altura, 0.80 ancho
Cama (altura variable)	0.50 altura mínima, 0.90 máxima, 0.93 ancho
Silla de ruedas	0.70 ancho (rueda a rueda), 0.70 alto (descanso de brazos)

Lo anterior junto con las encuestas realizadas, permitió clasificar las necesidades del cliente como se muestra en la tabla 3.3, donde 5 es muy importante y 1 poco importante.

Tabla 3.3 Necesidades del cliente con valor de importancia.

Número	Necesidad	Importancia
1	Se podrá desplazar de un lugar a otro.	3
2	Es fácil de utilizar.	5
3	Puede ser utilizado por una sola persona.	5
4	Permite cargar pacientes con peso dentro del rango normal de la población adulta mexicana.	4
5	Reduce al mínimo el esfuerzo del personal de enfermería.	2
6	Se mueve de manera que no resulte contraproducente al paciente.	5
7	Es de un material cómodo para el paciente.	4

8	Es de material resistente.	3
9	Tiene un costo menor en comparación con otros productos del mercado.	3
10	Es estético a la vista.	1
11	No requiere de cuidados especiales al limpiarse.	2
12	Las dimensiones se adaptan a los espacios requeridos.	5

Después de asignar un valor de importancia a las necesidades se procedió a ordenar las necesidades de acuerdo a ese valor, también se agregó un nombre a la necesidad como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Necesidades del cliente de acuerdo al valor de importancia.

Núm.	Nombre	Imp.	Necesidad
3	Modo de uso	5	Puede ser usado por una sola persona.
2		5	Es fácil de utilizar ya que el tiempo de traslado no rebasa los 5 minutos.
6	Maniobrabilidad	5	Sus movimientos no afectan al paciente.
12	Dimensiones	5	Las dimensiones se adaptan a los espacios requeridos.
4	Capacidad de Carga	4	Permite cargar pacientes dentro del rango normal de la población adulta mexicana.
1	Movilidad	3	Se puede desplazar de un lugar a otro.
9	Costo	3	Tiene un costo menor en comparación con otros productos del mercado.
7	Ergonomía	3	Es de un material cómodo para el paciente.
8	Material que lo compone	3	Es de material resistente.
5	Fuerza requerida	2	Reduce al mínimo el esfuerzo del personal para movilizar al paciente.
11	Mantenimiento	2	Es fácil de limpiar.
10	Ergonomía	1	Es estético a la vista.

Con base en lo anterior se definieron métricas para obtener las especificaciones del dispositivo en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Tabla con las métricas y la importancia en las necesidades del cliente.

No. de métrica	No. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
1	1	Sistema de tracción	3	No. ruedas
2	2	Fácil de utilizar	5	Subjetivo
3	3	Personas necesarias para utilizarlo	5	No. Operarios
4	4	Capacidad de carga para una operación segura	4	Kg o lb
5	5	Fuerza necesaria para operarlo	2	N o lbf
6	6	Seguridad para el paciente al ser utilizado	5	Subjetivo
7	7	Proporciona comodidad al paciente	4	Subjetivo
8	8	Resistencia de material al impacto	3	Joules
9	9	Costo unitario de manufactura	3	Pesos
10	10	Es estético a la vista	1	Subjetivo
11	11	Mantenimiento	2	Días
12	12	Dimensiones	5	Metros

Como complemento de la tabla anterior podemos agregar la tabla 3.5 de especificaciones, la cual se basa en la clasificación de especificaciones de ecodiseño en las categorías de Pahl y Beitz mostrada en la tabla 1.1 de la sección 1.5.

Tabla 3.5 Especificaciones del prototipo.

Especificaciones	Métrica	Tolerancia	Unidades	Categoría/ subcategoría
Dimensiones (largo*ancho*alto)	(980*780*1800)	± 10	mm	Geometría/ NA
Numero de Rodajas	6	-	rodajas	Geometría/ NA
Capacidad de carga para una operación segura	80	± 20	kg	Fuerzas/ NA
Fuerza necesaria para levantar un paciente (80 kg)	785	± 5	N	Fuerzas/ NA
Material para la estructura	3	-	barras de 6m	Material/ cantidad
Tipos de barras de acero	2	-	barras	Material/ disponibilidad local
No. de piezas	10	+5, -1	piezas	Material/ cantidad
Personas para su operación	1	-	persona	Ergonomía/ NA

Tipo de operación	manual	-	Tipo de operación	Ergonomía/ NA
Facilidad de fabricación	Diseño sencillo	-	manufactura	Producción/ Análisis de materia y energía del proceso productivo
Facilidad de ensamble	Diseño sencillo	-	ensamble	Ensamble/ modularidad
Operación en un hospital	5	±2	Horas diarias	Operación/ durabilidad
Limpieza del prototipo	1	-	Al día	Mantenimiento/ facilidad de servicio
Inspección de las partes	1	-	Al año	Mantenimiento/ facilidad de reparación
Reciclaje de las partes	-	-	Fin de vida útil	Reciclaje/ Capacidad de reciclaje
Costo total	12500	±2500	Pesos mexicanos (\$)	Costos/ NA

3.2 Estudio comparativo

Se realizó un breve estudio de las grúas existentes en el mercado de varios países para comparar precios, similitudes en el diseño y capacidad de carga, las grúas más relevantes se muestran en la tabla 3.5:

Tabla 3.5 Grúas existentes en el mercado de distintos países.

EQUIPO	OPERACIÓN	CAPACIDAD DE CARGA	TAMAÑO	COSTO
Grúa económica para pacientes	Hidráulica	200 kg	1.20*0.70*2m	\$11,000.00 M.N.
Grúa importada para pacientes	Hidráulica	200 kg	1.40*0.65*1.15m	\$14,500.00 M.N.
Grúa BIRDIE	Eléctrica	170 kg	1.15*0.68*1.70m	850.00 € (\$14,130.91 M.N.)
Grúa móvil para personas con discapacidad	Hidráulica	150 kg	1.40*0.60*1.70m	\$6,900.00 M.N.

Chrome Hydraulic Lift	Hidráulica	200 kg	1.18*1.07*1.62m	\$1,075.36 USD (\$14,167.87 M.N.)
Painted Hydraulic Lift	Hidráulica	200 kg	1.18*1.07*1.63m	\$731.12 USD (\$9,633.31 M.N.)
Reliant 450 Battery-Powered Lift with Low Base	Eléctrica	200 kg	1.21*1.04*1.87m	\$3,024.32 USD (\$39,848.74 M.N.)
Invacare® Jasmine™ Premier Series Full Body Lift	Eléctrica	230 kg	1.18*1.24*1.89m	\$5,921.00 USD (\$78,008.58 M.N.)
Reliant 600 Heavy-Duty Power Lift with Power Opening Low Base	Eléctrica	270 kg	1.21*1.04*1.72m	\$5,665.92 USD (\$74,647.93 M.N.)
Diana Comfort E	Eléctrica	160 kg	1.19*1*1.95m	\$2,802.00 USD (\$36,918.03 M.N.)
Tonya	Eléctrica	160 kg	1.11*0.60*1.27m	\$4,914.00 USD (\$64,744.90 M.N.)

Nota: Tipo de cambio (noviembre de 2012) 1€=\$16.62 M.N. \$1 Dólar=\$13.18 M.N.

Todas las grúas de la tabla son sencillas de operar y puede hacerlo una sola persona con una mínima capacitación. Las imágenes de cada una se muestra en el ANEXO 5.

Respecto al costo podemos observar que la grúa más barata del estudio comparativo (tabla 3.5) “Grúa móvil para personas con discapacidad” cuesta \$6,900.00 pesos mexicanos, con lo cual se fijó el costo mínimo del prototipo final, aunque puede ser más elevado, pues el precio de la “Grúa móvil para personas con discapacidad” seguramente se debe a la manufactura y sistema de levantamiento de la misma, para darse una idea basta con observar la imagen del anexo 5 de ésta.

Según las observaciones del Dr. David Rojano Mejía, jefe de enseñanza del hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro, con lo que respecta al costo, nos planteo un rango de precio que es aceptable para el hospital que va de \$10,000.00 a \$15,000.00 pesos mexicanos, con lo cual se fijó un máximo para el costo del prototipo final.

El rango de peso de las grúas mostradas va de los 150 a los 270 kg pero según el estudio "*¿Cuánto mide México? El tamaño sí importa*" realizado por la Cámara Nacional de la Industria del Vestido (CANAIVE) presentado el 7 de febrero de 2012 nos dice:

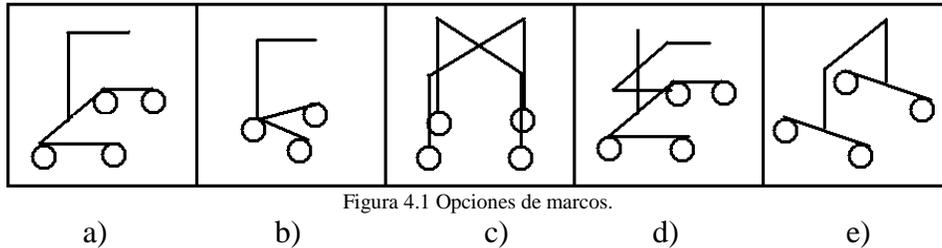
“El peso promedio de mujeres entre los 18 y 25 años es de 62.90 kg, y en los hombres de 70.43 kg; de los 40 a 50 años el promedio de peso en las mujeres incrementa a 72.15 kg, y en los hombres a 77.30 kg.”¹⁰

Por lo cual el peso que el dispositivo debe levantar está en el rango de 60 a 80 kg, sin embargo esto es un promedio por lo que realmente el peso que debe soportar debe ser mayor a 100 kg.

¹⁰ Cherem E. Marcos. "*¿Cuánto mide México? El tamaño sí importa*". Cámara Nacional de la Industria del Vestido [en línea]. 7 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.canaive.org.mx/detalleNoticias.php?id_notas=832>

Capítulo 4. Diseño conceptual

Con base en las grúas existentes, las necesidades del cliente y pensando en la sustentabilidad e innovación, se procedió a realizar varias opciones de diseño empezando por la forma de la estructura de la grúa, algunas de las opciones se muestran en la figura 4.1:



La opción a) es el marco utilizado por todas la grúas comerciales. La opción b) es parecida a la primera opción, sin embargo, para la simplificación de partes y ahorro de espacio sólo cuenta con 3 ruedas. La opción c) es un diseño totalmente diferente que está pensado para ser colocado sobre una cama y a lo largo de la misma, tiene la posibilidad de plegarse para poder moverlo con facilidad cuando no está en uso, puede colocarse sobre una cama rodando el marco desde los lados o desde la cabecera. La opción d) también se basa en la primera opción pero éste cuenta con un par de “brazos” con los cuales se sujeta al colchón del paciente. La opción e) se coloca sobre la cama rodando el marco desde los lados.

Después de los marcos se plantearon opciones para la operación de levantamiento del paciente. En primera estaban las opciones de las grúas comerciales, pistón hidráulico automático o motor eléctrico, éstos dos sistemas son sencillos de utilizar pero necesitan de electricidad para su alimentación y requiere que la grúa cuente con una batería recargable para evitar cables que estorben en el traslado del paciente; la operación de levantamiento en algunas grúas comerciales es por medio de un pistón hidráulico manual lo cual reduce el costo y el consumo de electricidad. En segunda opción estaba un polipasto o un tornillo de potencia, éstos funcionan únicamente con ventaja mecánica por lo que el consumo de electricidad es nulo aunando a esto que el mantenimiento de estos sistemas es mínimo.

Algunas de las opciones de diseño obtenidas de la combinación de las opciones de marco y los sistemas de levantamientos fueron las siguientes:

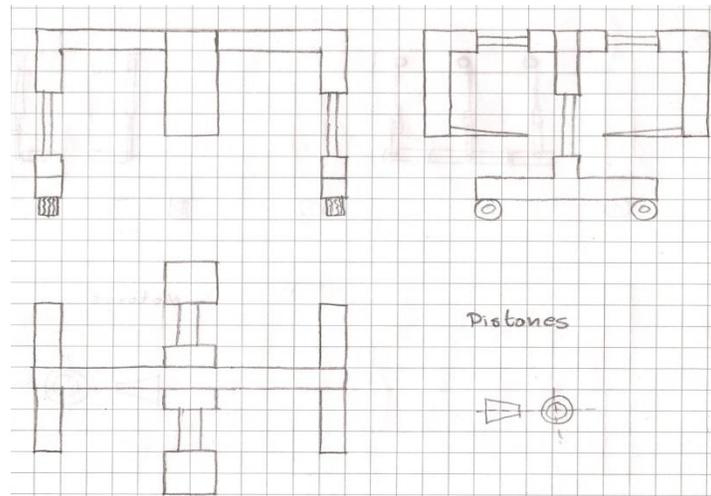


Figura 4.2 Diseño con pistones

El diseño de la figura 4.2 está pensado para que una especie de cuchillas se abran y cierren por medio de pistones y levanten un colchón especialmente diseñado para este tipo de grúa. La ventaja es que un paciente podría ser trasladado de una cama a una camilla sin ningún esfuerzo. La desventaja es que sólo puede trasladar a un paciente en posición horizontal y no permite el traslado de un paciente a una silla.

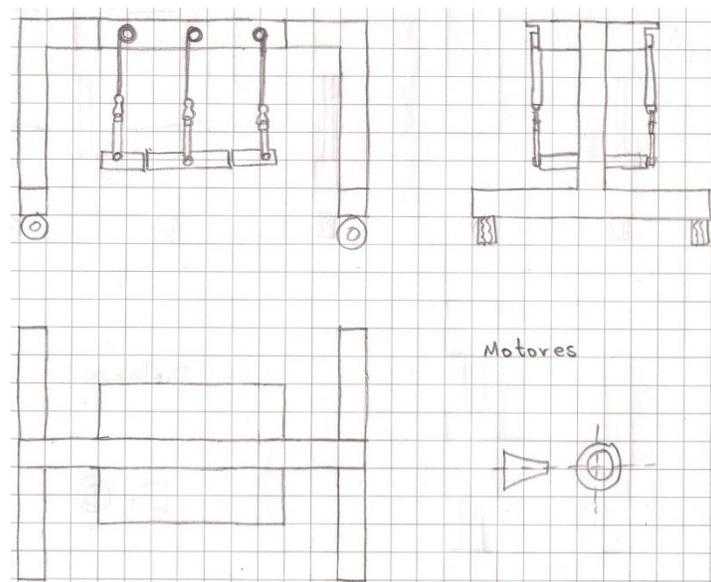


Figura 4.3 Diseño con motores.

El diseño de la figura 4.3 está planeado para operar con tres motores independientes colocados en la parte superior, cada uno de éstos tiene una cinta enrollada la cual carga un colchón especialmente diseñado para ésta grúa. La ventaja de éste diseño es que con ayuda de los motores independientes y la forma del colchón especial el traslado de una cama o camilla a una silla es posible siempre y cuando se cuente con el espacio necesario para operar la grúa. La desventaja es que con tres motores eléctricos se requiere cierta cantidad de energía para que funcionen correctamente requiriendo así una pila de mayor capacidad que las grúas comunes o de cables para la alimentación eléctrica.

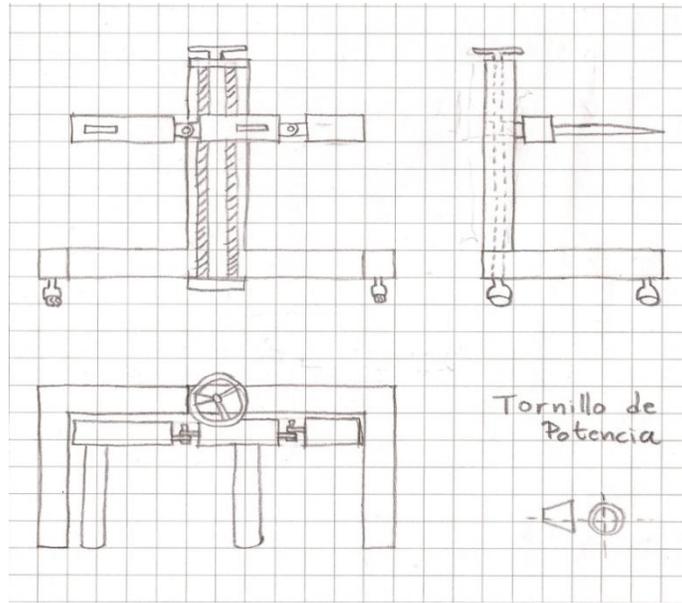


Figura 4.4 Diseño con tornillo de potencia.

El diseño mostrado en la figura 4.4 está planeado para que los brazos levanten un colchón especial mediante un tornillo de potencia. Una ventaja es que la parte que levanta al colchón está seccionada para permitir la posición de sentado y acostado, otra ventaja es que no necesita energía eléctrica. La desventaja es que para elevar o bajar un paciente habría que girar un gran número de veces el volante que hace girar los tornillos de potencia.

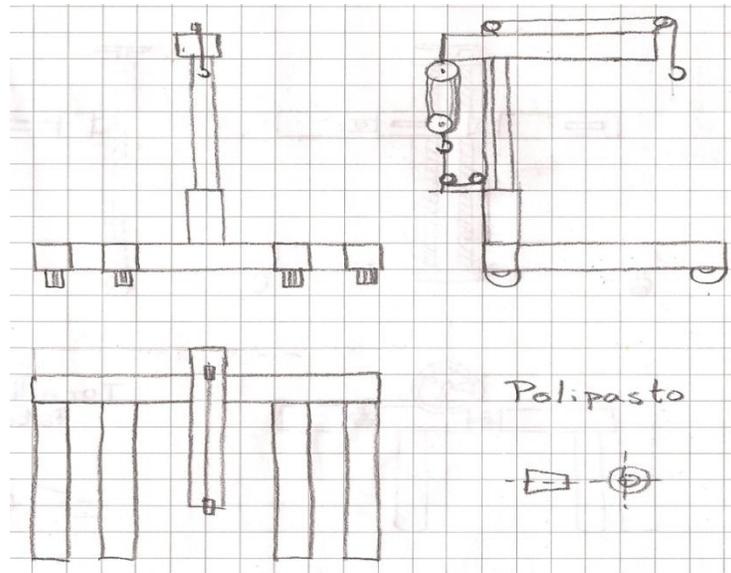


Figura 4.5 Diseño con un polipasto.

El diseño con poleas, mostrado en la figura 4.5, funciona aprovechando la reducción de la magnitud de la fuerza por medio de un polipasto. La parte superior gira para facilitar el traslado de un paciente de un lugar a otro sin la necesidad de mover toda la grúa, el par de patas exteriores giran para proporcionar soporte cuando se gira la parte superior, este diseño no necesita de un colchón especial si no que puede colocársele el arnés que se adapte a las necesidades médicas del paciente. Las ventajas principales son que no requiere de energía

eléctrica y que levantar a un paciente requiere de un mínimo esfuerzo del operador. La desventaja es que el par de patas extra hace que la base sea un poco voluminosa.

4.1 Selección del diseño

Cada uno de los diseños anteriores se consideró para llevarse a cabo en el proyecto, ya que estos diseños tienen la posibilidad de cumplir con la funcionalidad requerida considerando ventajas y desventajas. Para seleccionar la opción de diseño se identificaron los aspectos más relevantes para el cliente y se consideró también la manufactura del prototipo a realizar:

- **Funcionalidad:** se refiere a que tan bien trabaja el sistema de levantamiento con respecto al accionamiento (manual o automático).
- **Tamaño de la estructura:** se refiere a las dimensiones del prototipo completo, las cuales deben adaptarse a las dimensiones donde va a ser utilizado, en este caso el hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro.
- **Facilidad de operación:** se refiere a que tan simple es levantar a alguien y trasladarlo a donde se requiere.
- **Movilidad del prototipo:** se refiere a que tan fácil es llevar el prototipo de un lugar a otro en el espacio en el cual se va a utilizar.
- **Comodidad del paciente:** se refiere a qué tan seguro y cómodo se siente un paciente al ser trasladado en el prototipo.
- **Dificultad de manufactura:** se refiere a la dificultad con que pueden fabricarse todas las partes del prototipo, incluyendo el sistema de levantamiento.

Con estos aspectos se realizó la matriz de decisión que se muestra en la tabla 4.1, la cual nos ayudó a elegir el diseño definitivo para el proyecto. Los criterios utilizados para calificar cada opción de diseño van en una escala de 1 (muy malo) a 5 (muy bueno).

Tabla 4.1 Matriz de decisión del diseño.

Diseño	Funcionalidad	Tamaño de la estructura	Facilidad de operación	Movilidad del prototipo	Comodidad del paciente	Dificultad de manufactura	Promedio
Pistones	2	2	4	2	2	1	2.2
Motor eléctrico	4	2	3	2	4	1	2.7
Tornillo de potencia	3	3	3	3	3	2	2.8
Polipasto	4	3	5	4	4	3	3.8

Es importante destacar que el costo no se consideró en la tabla 4.1 debido a que los diseños antes mencionados están contemplados para realizarse con el presupuesto indicado en la tabla 3.5 de especificaciones del prototipo.

Como podemos observar en la tabla 4.1 la opción de diseño con el polipasto es la más adecuada de acuerdo con la “calificación” promedio por lo que es el diseño seleccionado para construir un prototipo de dispositivo para traslado de pacientes.

Capítulo 5. Diseño de detalle

5.1 Selección del material

La mayor parte del instrumental médico está hecho de acero inoxidable por sus propiedades higiénicas, la resistencia a la corrosión y que puede dedicarse a varios aspectos del área médica dependiendo del tratamiento térmico que se le aplique. Pero considerando que una de las necesidades del cliente es que el prototipo tuviera un costo menor que los encontrados en el mercado, el acero inoxidable era considerablemente caro para el propósito requerido.

El material para la construcción del prototipo se eligió considerando en el costo y las propiedades físicas del mismo.

Tabla 5.1 Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en ingeniería (unidades SI)¹¹.

Material	Densidad, kg/m	Resistencia última			Fluencia		Modulo de elasticidad, GPa
		Tensión, MPa	Compresión, MPa	Cortante, MPa	Tensión, MPa	Cortante, MPa	
Acero							
Estructural (ASTM-A36)	7860	400	400	400	250	145	200
Templado							
ASTM-A709 Grado 690	7860	760	760	760	690	690	200
Inoxidable, AISI 302							
Laminado en frío	7902	860	860	860	520	520	190
Recocido	7920	655	655	655	260	150	190

Nota: Las propiedades de los metales varían ampliamente con la composición, el tratamiento térmico y el trabajo mecánico.

La tabla 5.1 muestra algunos tipos de aceros y sus propiedades, entre ellos se encuentran el acero inoxidable que es usado ampliamente en el sector médico, el acero A36 que se utiliza en la construcción de estructuras y el acero 709 que se utiliza en la construcción de puentes.

Como se puede observar en la tabla 5.1 las propiedades del acero estructural A36 son parecidas a las del acero inoxidable recocido, pero el precio del acero A36 es mucho menor que el del acero inoxidable. Por estos motivos el acero A36 fue el elegido para la construcción del prototipo.

¹¹ Beer, P. Ferdinand. *Mecánica de materiales*. Cuarta edición. México, D.F. McGraw-Hill Interamericana, 2007. Apéndice B, p. 748.

5.2 Modelado del prototipo en 3D

Después de haber seleccionado el diseño se procedió a modelarlo en el software UGS NX 7.5 para hacer el análisis de la funcionalidad y viabilidad del diseño. Tomando en cuenta las mediciones realizadas en el hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro, de los espacios donde se va a utilizar la grúa se realizó el modelo siguiente (figura 5.1 y 5.2):



Figura 5.1 y 5.2 Modelado del diseño en NX7.5.

Al realizar este diseño en NX7.5 y simular el movimiento a que iba someterse se destacaron ciertos detalles que tuvieron que cambiarse para optimizar el funcionamiento como ejemplo las patas que tienen la función de abrir y cerrar como una tijera, originalmente iban a estar sujetas por una placa que pasaba por en medio de la base y la pata móvil, pero el diseño se simplificó a una placa que cumpliera con la sujeción de la pata a la base y al mismo tiempo que permitiera el movimiento requerido. El rediseño de la idea original se muestra en las figuras 5.3 y 5.4:

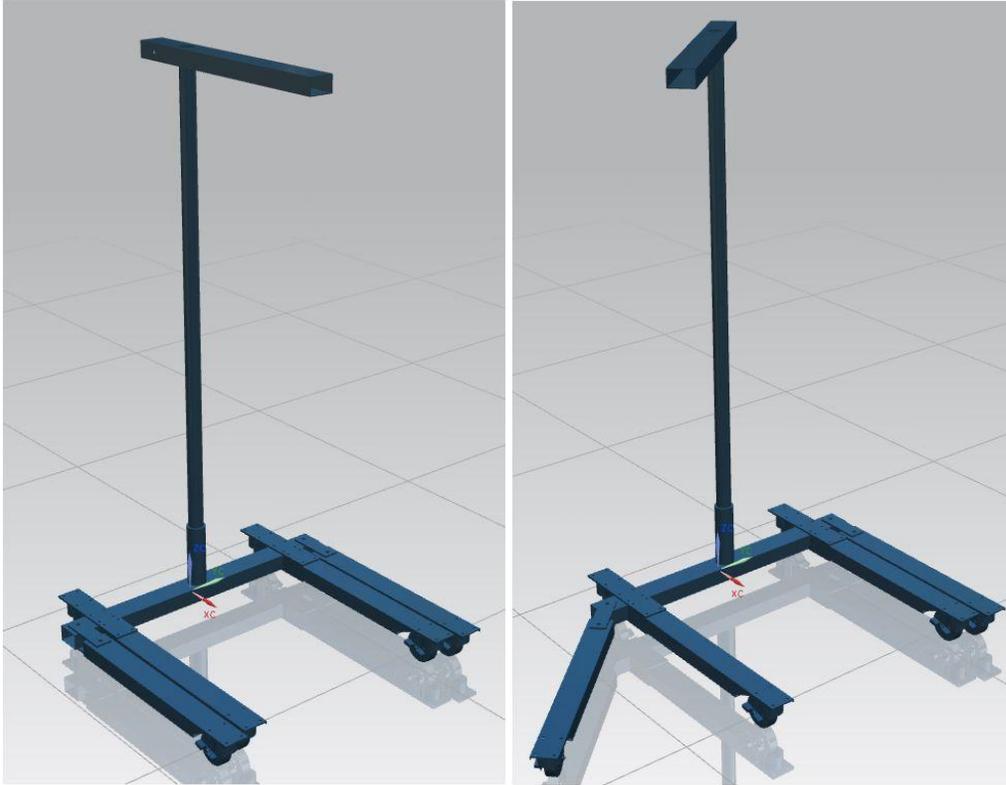


Figura 5.3 y 5.4 Rediseño del modelo en NX7.5.

5.3 Simulación de partes críticas

El programa NX7.5 con el que se realizó el modelo en 3D, también nos permite hacer análisis de esfuerzos y desplazamiento en la estructura. A continuación se muestra el análisis realizado en la columna, el brazo y la base del prototipo que se consideran como partes críticas. El análisis realizado en todas las partes fue considerando un peso de 80kg y una aceleración de la gravedad de 9.81 m/s^2 para obtener un total de 784.8 N de fuerza, estos valores fueron escogidos con base en lo mencionado en la sección 3.2 que se refiere al rango de levantamiento del dispositivo.

En este análisis se descartan las poleas del polipasto, el malacate y las ruedas porque las especificaciones del fabricante de cada una indican que pueden someterse a una carga mucho mayor a la antes mencionada (80kg). Cabe destacar que las especificaciones de las poleas no están incluidas en este documento porque el fabricante no las incluye al proporcionar el producto.

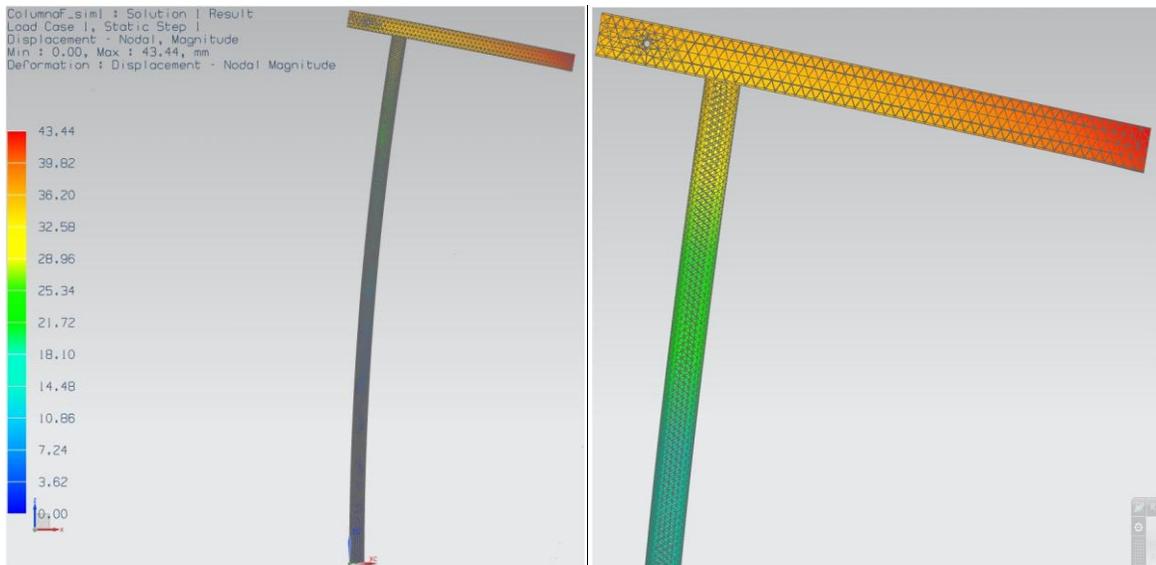


Figura 5.5 y 5.6 análisis de desplazamiento de la columna y el brazo en NX7.5.

Las figuras 5.5 y 5.6 muestran el desplazamiento de la columna y el brazo del prototipo. Como puede observarse el desplazamiento máximo es de 43.45mm (color rojo) lo cual podemos considerar permisible para el prototipo ya que según la figura 5.7 los esfuerzos no rebasan la zona elástica del material.

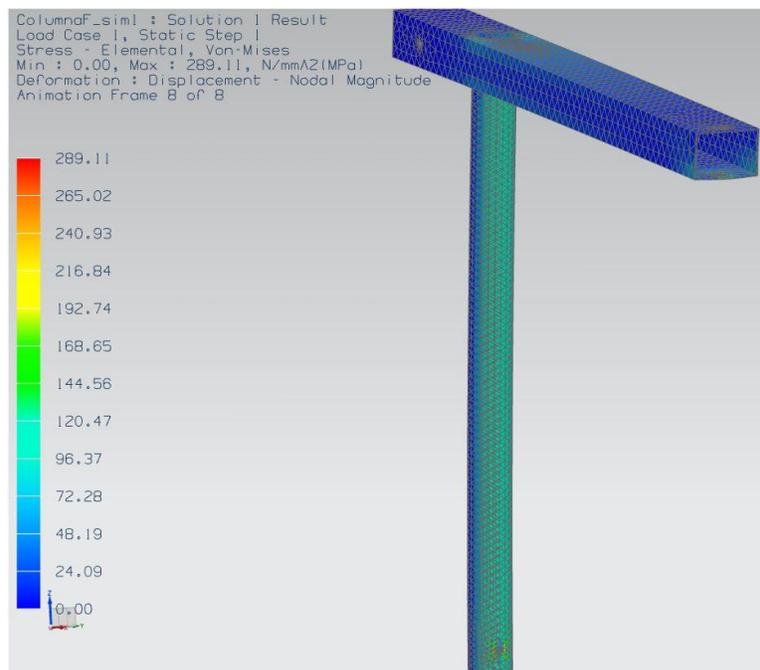


Figura 5.7 análisis de esfuerzos en la columna y el brazo en NX7.5.

La figura 5.7 muestra la distribución de esfuerzos en la columna y el brazo, podemos observar por el código de colores que el esfuerzo no rebasa la zona verde que es menor de 192.74 MPa. El esfuerzo máximo indicado con color rojo que es de 289.11 MPa se

encuentra localizado en algunas pequeñas partes de la malla que corresponde a los barrenos que hay distribuidos en la columna los cuales son concentradores de esfuerzos, aun así no rebasa el esfuerzo último del material que es de 400 MPa (tabla 5.1). Con el esfuerzo máximo obtenido en la simulación y el esfuerzo último obtenido en tablas podemos obtener el factor de seguridad:

$$F.S. = \sigma_u / \sigma_p = 400 \text{ MPa} / 289.11 \text{ MPa} = 1.38$$

donde:

F.S.= factor de seguridad

σ_u = esfuerzo último

σ_p = esfuerzo permisible, en este caso esfuerzo obtenido en la simulación.

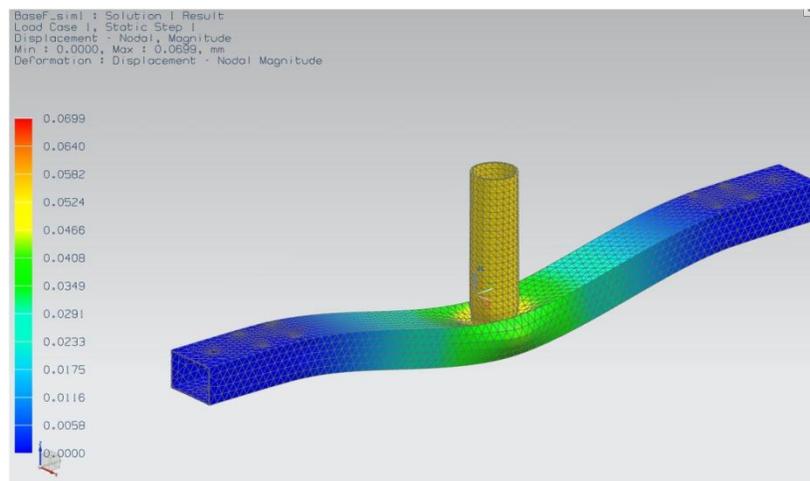


Figura 5.8 análisis de desplazamiento en la base en NX7.5.

En la figura 5.8 puede observarse que el desplazamiento máximo es de 0.069 mm lo cual no es algo muy significativo ya que como se muestra en la figura 5.9 la distribución de esfuerzos no rebasa la zona elástica del material.

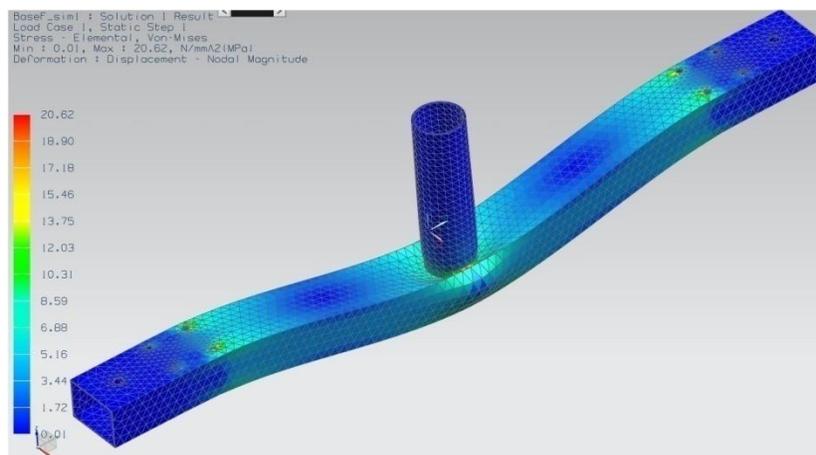


Figura 5.9 análisis de esfuerzos en la base en NX7.5.

La figura 5.9 nos muestra la distribución de esfuerzos en la base del prototipo, puede notarse en la imagen que el esfuerzo máximo es de 20.62 MPa lo cual representa un pequeño porcentaje del esfuerzo último que soporta el material (400 MPa). Con el esfuerzo máximo obtenido en la simulación y el esfuerzo último obtenido en tablas podemos obtener el factor de seguridad:

$$F.S. = \sigma_u / \sigma_p = 400 \text{ MPa} / 20.62 \text{ MPa} = 19.39$$

donde:

F.S.= factor de seguridad

σ_u = esfuerzo último

σ_p = esfuerzo permisible, en este caso esfuerzo obtenido en la simulación.

5.4 Lista de partes del dispositivo

A continuación se muestra una imagen del dispositivo real (figura 5.10 y 5.11) y una lista de partes con una descripción de su funcionamiento. Los planos de las partes no comerciales se incluyen en el ANEXO 6 de este documento.

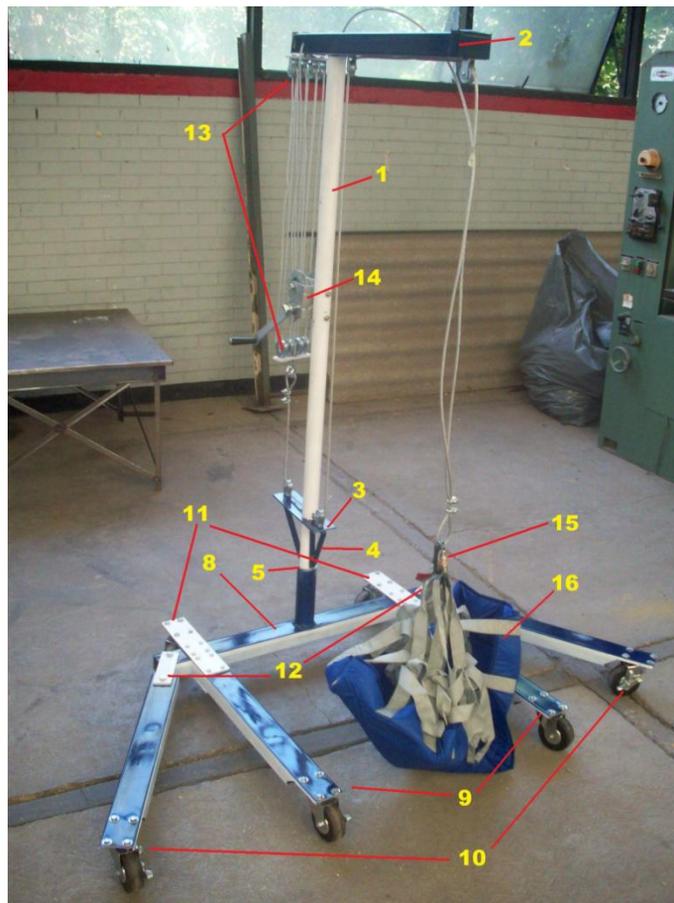


Figura 5.10 Partes del dispositivo.



Figura 5.11 Partes del dispositivo contenidas en la base.

1. Columna: en esta parte se encuentra colocado el *malacate*; también se encuentran unas *escuadras* que sirven de soporte para la *base de poleas*. La *columna* gira al mismo tiempo que el *brazo* para permitir el traslado de un paciente.
2. Brazo: en este se encuentran colocadas las poleas fijas del *polipasto* y un par de poleas que sostienen el cable de acero destinado para cargar al paciente.
3. Base de poleas: esta placa sostiene dos poleas que direccionan el cable de acero que carga al paciente hacia las poleas móviles del polipasto.
4. Escuadras: estas van sujetas a la *columna* y a su vez la *base de poleas* va sujeta en las *escuadras*.
5. Buje superior: sirve para centrar la *columna*.
6. Buje inferior: además de centrar la *columna* también se encarga de centrar el *balero*.
7. Balero: permite que la *columna* gire con facilidad.
8. Base: en esta se encuentra soldado un tubo que contiene los bujes, el *balero* y la *columna*. En esta parte van fijadas las patas.
9. Patas fijas: en el extremo de cada una va sujeta una rueda frontal.
10. Patas móviles: estas se abren y cierran para estabilizar al dispositivo en caso de que sea necesario. Cada una tiene sujeta una rueda frontal en un extremo.
11. Placa fija izquierda y derecha: en cada una de ellas va sujeta una pata fija y una rueda trasera.
12. Placa móvil izquierda y derecha: en cada una de ellas va sujeta una pata móvil.
13. Polipasto: es un sistema de poleas por el cual pasa un cable de acero que se enrolla en el *malacate*.
14. Malacate: en este se enrolla el cable del *polipasto* para levantar a un paciente.
15. Mosquetones: estos se encargan de sujetar el *arnés*.
16. Arnés: sirve para sujetar al paciente.

Capítulo 6. Manufactura y pruebas del prototipo

La estructura principal del prototipo se manufacturó en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de ingeniería. Realmente no se requirió de maquinas especializadas para realizar las piezas, con excepción de los bujes, pues el diseño permite que la manufactura de éstas sea simple, por lo que solo se requirió hacer cortes simples (rectos). Los bujes se mandaron a manufacturar en un taller que cuenta con un torno CNC lo cual acelero el proceso de manufactura del prototipo.

Los barrenos para los tornillos de las patas fueron hechos con una broca de 5/16” y los barrenos para las poleas requirieron una broca de 1/4”. El barreno para insertar el tubo en el perfil recto que conforma el brazo y la columna se hizo con un sacabocados bimetálico o broca sierra para metal de 1 7/8”.

Se requirió de un soldador con experiencia para unir la base con un tubo que contiene los bujes y también para soldar el brazo con la columna, el soldador utilizó soldadura con micro alambre que es un proceso semiautomático o automático que usa una alimentación continua de alambre como electrodo y una mezcla de gas inerte o semi-inerte para proteger la soldadura contra la contaminación.

El costo final del prototipo fue de \$5,000.00 pesos considerando únicamente el material de todas las piezas del prototipo, la soldadura incluyendo la mano de obra, algunas herramientas y pintura.

6.1 Pruebas del prototipo en la Facultad de ingeniería

Las primeras pruebas se realizaron en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de ingeniería para verificar el funcionamiento del giro de la columna, el malacate, las poleas y la estabilidad del prototipo.

Antes de colocar el cable de acero en el sistema de levantamiento se hicieron pruebas con cuerda y poco peso para checar la funcionalidad del polipasto lo cual se muestra en la figura 6.1 y 6.2.



Figura 6.1 y 6.2 Pruebas del polipasto.

Después de colocar el cable se probó el prototipo con una persona de 80 kg (figuras 6.3 y 6.4) y una persona de 65 kg (figura 6.5).



Figura 6.3 y 6.4 Pruebas con persona de 80 kg.



Figura 6.5 Pruebas con persona de 65 kg.

Se realizaron alrededor de 20 pruebas de levantamiento en un plazo de dos semanas, cada una tuvo una duración de 7 a 10 minutos, considerando la colocación del arnés, levantamiento, giro de la columna, descenso y el momento en que se retiró el arnés. Con estas pruebas pudimos observar el funcionamiento del sistema de levantamiento y comprobamos la estabilidad que tiene el prototipo al girar al paciente abriendo las patas móviles, en cuanto al giro de la columna es bastante simple accionarlo ya que el balero reduce al máximo la fricción al girar. También pudimos observar que es relativamente fácil levantar al paciente con el malacate y aunque el tiempo de levantamiento depende de las capacidades físicas del operador, éste tardó de 1 a 3 minutos en la mayoría de las pruebas..

Como el análisis realizado en la sección 5.3 lo había previsto, hay un desplazamiento del brazo al aplicar la carga, el cual puede notarse en las fotos, pero cuando se retira la carga éste regresa a su posición original, lo que reitera que al aplicar esta cantidad de carga no se rebasa la zona elástica del material.

6.2 Prueba del prototipo en el hospital del IMSS

Esta prueba se realizó en el hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro. Aquí se comprobó la funcionalidad del prototipo en los espacios para los que se diseñó, también se obtuvo la opinión del Dr. David Rojano Mejía jefe de enseñanza del hospital mencionado.

La prueba se realizó con ayuda del Dr. Vicente Borja que pesa aproximadamente 70 kg, se hizo el traslado cama a silla de ruedas y viceversa (figuras 6.6 a la 6.9).



Figura 6.6 Sujeción del arnés.



Figura 6.7 Levantamiento realizado por el Dr. David Rojano.



Figura 6.8 y 6.9 Traslado hacia la silla de ruedas.

Las pruebas realizadas en el hospital y las observaciones del Dr. David Rojano nos proporcionaron varias oportunidades de mejora del prototipo:

- La base era demasiado larga y no entraba por las puertas del elevador.
- Las patas móviles deben contar con una especie de tope para que no se muevan abran cuando no es necesario.
- Las carcasas de las poleas no resistieron el peso y apretaron a la polea debido a una deformación que impidió el giro ésta.
- Una sección de la base sufrió una deformación permanente cerca de donde se encuentra el tubo que contiene el balero.
- La columna presentaba una ligera deformación permanente en la parte inferior.

Los motivos de estos sucesos fue que por extraño que parezca las dimensiones de las puertas no son las mismas en todos los cuartos, varían hasta por 10 cm, y solo se midió un cuarto y se dio por hecho que todos los cuartos eran iguales.

En cuanto a la deformación de las carcasas de las poleas y la base, lo que sucedió fue que no se consideró una carga extra independiente del peso, en este caso se cree que fue cuando el cable era jalado manualmente porque las poleas se habían apretado. El momento provocado en la base debido al peso, más la carga independiente antes mencionada, provocó la deformación de la base ya que ésta era muy delgada para soportar ambas fuerzas, esta misma carga independiente al peso también causó la deformación de la columna.

Mientras el prototipo era probado el Dr. David Rojano afirmó que el hospital prefiere una grúa automática en vez de una manual si el precio varía de \$5,000.00 a \$7,000.00 pesos, lo cual permitió que una de las oportunidades de mejora fuera hacer un prototipo automático.

Capítulo 7. Segunda versión del prototipo

Gracias a la experiencia obtenida en la investigación y manufactura del primer prototipo fue relativamente rápido la realización de una segunda versión del mismo.

7.1 Rediseño del prototipo

Lo primero que se consideró para la nueva versión del prototipo, que de ahora en adelante será mencionado como prototipo 2, fue en cambiar el sistema de levantamiento de manual a automático o diseñar y manufacturar las poleas del sistema de levantamiento. Se consideró que era más sencillo y funcional hacer automático el prototipo, con base en la investigación realizada para el proyecto se seleccionó un malacate eléctrico y una fuente para éste, el malacate eléctrico cumple con los requerimientos necesarios de levantamiento y el precio no eleva mucho el costo original del prototipo, lo cual es un requerimiento del cliente. Con ésta modificación se eliminó la necesidad de utilizar el malacate manual y las poleas.

La base se hizo más corta tomando en cuenta la longitud de la puerta más pequeña que hay en el hospital, en este caso la del elevador. También se sustituyó con un perfil de un calibre más grueso que el del primer prototipo. Como la base se hizo más corta las patas fijas tuvieron que juntarse para dejar un espacio para que la silla de ruedas pudiera colocarse bajo el brazo. La columna también se sustituyó con un tubo mecánico de calibre más grueso.

Para lograr que el cable del malacate eléctrico se pudiera direccionar verticalmente se agregó un rodillo al extremo del brazo. La figura 7.1 muestra un boceto del prototipo 2:

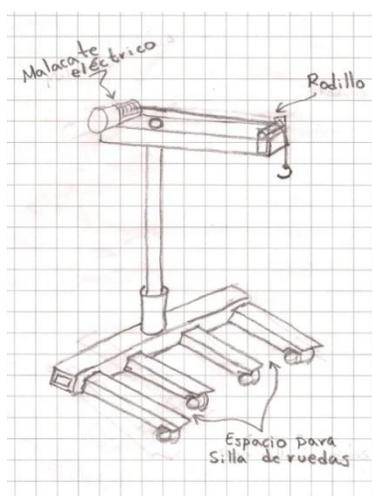


Figura 7.1 Boceto del prototipo 2.

7.2 Manufactura del prototipo 2

Se construyó una nueva base, la manufactura fue la misma que la de la primera, se hicieron los barrenos para los tornillos de las patas y se mandó soldar el tubo que contiene los bujes. También se mando soldar un nuevo tubo mecánico con un perfil rectangular, al que previamente se le hizo un barreno para insertar el tubo mecánico, así se construyó la nueva columna y brazo, a éste se le hicieron los barrenos necesarios para la sujeción del malacate eléctrico y las placas que soportan al rodillo para el cable ubicadas en un extremo del brazo.

El prototipo 2 quedo conformado como se muestra en la figura 7.2, 7.3 y 7.4, los planos de las partes no comerciales del prototipo 2 se encuentran en el ANEXO 7 de este documento.



Figura 7.2 y 7.3 Prototipo 2.



Figura 7.4 Malacate eléctrico montado en el prototipo 2.

7.3 Pruebas del prototipo 2 en la Facultad de Ingeniería

Al igual que con el primer prototipo se realizaron pruebas en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería para verificar el funcionamiento del giro de la columna (figura 7.5 y 7.6), la estabilidad del prototipo y el funcionamiento del malacate eléctrico.



Figura 7.5 y 7.6 Prueba del prototipo 2 con persona de 80 kg.

Como puede anticiparse, el malacate eléctrico hace realmente sencillo el levantar o bajar a una persona con el simple hecho de apretar un botón. La estabilidad del prototipo 2 es muy superior a la del anterior prototipo por las modificaciones estructurales de la base y la columna, además de que el malacate eléctrico no provoca el mismo movimiento que el malacate manual provocaba en la columna al accionarlo.

El giro de la columna se mantuvo con la misma sencillez de operación que en el primer diseño ya que este giro depende del balero y los bujes, los cuales se mantuvieron sin modificaciones para el prototipo 2.

7.4 Pruebas del prototipo 2 en el hospital del IMSS

Nuevamente se realizó una prueba en el hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro. Como con el prototipo anterior, se comprobó la funcionalidad del prototipo 2 en los espacios para los que se diseñó. En esta ocasión también se obtuvo la opinión del Dr. David Rojano Mejía jefe de enseñanza del hospital mencionado.

Esta vez se realizó una prueba con el Dr. David Rojano como paciente para que él probara la comodidad del prototipo, con un peso aproximado de 75 Kg. se hizo el traslado de silla de ruedas a cama, esto se muestra en las figuras 7.7 a 7.10.



Figura 7.7 Sujeción del arnés.



Figura 7.8 y 7.9 Levantamiento y traslado hacia la cama.



Figura 7.10 Se retira del arnés.

Después se realizó un traslado de cama a silla de ruedas con una persona de 80 kg. En esta ocasión el Dr. Rojano fue el encargado de realizar la prueba para comprar la facilidad con que el prototipo puede utilizarse. Las figuras 7.11 a 7.14 muestran esta prueba.



Figura 7.11 Sujeción del arnés.



Figura 7.12 y 7.13 Levantamiento y traslado hacia la cama.



Figura 7.10 Se retira del arnés.

Cada una de las pruebas anteriores tardó aproximadamente 5 minutos y aunque en algunas de las imágenes de las pruebas aparecen más de dos personas, el prototipo puede ser operado por una sola persona. En cuanto a la comodidad, ambos sujetos de prueba afirmaron que el arnés es cómodo aunque aprieta un poco los hombros, y que el prototipo proporciona bastante seguridad en todo momento.

Después de estas pruebas el Dr. David Rojano hizo unas cuantas observaciones que podrían mejorar el prototipo:

- El malacate eléctrico podría aislarse para que no emitiera tanto ruido, ya que el ruido puede ser molesto para los pacientes y el personal cercanos.
- El arnés podría ser de otro modelo, para reducir el tiempo de colocación ya que el arnés con el que se hicieron las pruebas debe sujetarse de 6 correas para ser utilizado.
- La estructura principal del prototipo podría ser de otro material más ligero para reducir el peso de éste.

- La columna podría ser telescópica para poder hacer más pequeño el prototipo y facilitar su almacenaje.
- El prototipo debería contar con una pieza extra en la que se coloque el arnés, que permita que éste se sujete con tres correas de cada lado, para impedir que los hombros se junten demasiado.

Capítulo 8. Análisis de sustentabilidad

El análisis de sustentabilidad se realizó en el software *Sustainable Minds* que integra la evaluación del ciclo de vida o LCA (por sus siglas en inglés *life cycle assessment*) con las capacidades web y herramientas de diseño de productos ya existentes, para ampliar las habilidades y conocimientos de los equipos de desarrollo de productos y de sus organizaciones, y con esto hacer crecer nuevos mercados a través de los ingresos y la innovación de productos más ecológicos¹².

Sustainable Minds utiliza una metodología LCA para la evaluación de posibles impactos ecológicos y de salud humana de los productos utilizados en América del Norte. Utiliza TRACI¹³ categorías de impacto desarrolladas por los E.U. EPA¹⁴, la normalización de América del Norte y de los valores de ponderación desarrollados por la EPA y NIST¹⁵ respectivamente, y los datos de inventario de proceso de las fuentes más confiables de todo el mundo. *Sustainable Minds* utiliza valores de caracterización TRACI basados en las condiciones de los Estados Unidos y los valores per cápita de normalización de impacto en Estados Unidos. Esta metodología LCA es más relevante para los productos que se consumen en los E.U., sin embargo, puede ser aplicado en otras regiones del mundo, para los que no existe una metodología LCA. La excepción es en Europa, donde los métodos LCA se han desarrollado sobre la base de las condiciones europeas¹⁶.

La metodología SM 2013 utilizada se basa en los requerimientos de la norma ISO 14044:2006 que especifica los requisitos y proporciona directrices para la evaluación del ciclo de vida (LCA) que incluye: la definición del objetivo y el alcance de LCA, el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), la fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA), la fase de interpretación del ciclo de vida, informes y la revisión crítica de LCA, las limitaciones de LCA, la relación entre las fases del ACV, y las condiciones para el uso de opciones de valores y elementos opcionales¹⁷.

Para el análisis se eligió la grúa BIRDIE (mostrada en el estudio comparativo tabla 3.5) como concepto de referencia, pues es la grúa que más se aproxima a las que se encuentran en establecimientos comerciales en la ciudad de México.

¹² Disponible en Word wide web: <<https://app.sustainableminds.com/learning-center/why-sustainable-minds/introduction>>

¹³ J. Bare (2011) TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0. Clean Technologies and Environmental Policy. 13(5); United States Environmental Protection Agency (2012). Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) User's Manual. Document ID: S-10637-OP-1-0.

¹⁴ A. Lautier, et al. (2010). Development of normalization factors for Canada and the United States and comparison with European factors. *Science of the Total Environment*. 409: 33-42.

¹⁵ Bare, Jane; Gloria, Tom and Norris, Greg, Development of the Method and U.S. Normalization Database for Life Cycle Impact Assessment and Sustainability Metrics, *Environmental Science and Technology*, / VOL. 40, NO. 16, 2006

¹⁶ Disponible en Word wide web: <<https://app.sustainableminds.com/learning-center/why-sustainable-minds/about-methodology>>

¹⁷ Disponible en Word wide web: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38498>

El análisis se realizó considerando la cantidad total de servicio prestado definido de la siguiente forma: el concepto de producto está destinado a ser utilizado durante 5 horas diarias, durante 5 años, y la unidad funcional es de 1 año de uso, es decir $5 \times 5 \times 365 = 9125$ que es la cantidad de servicio prestado. Los resultados se muestran en la figura 8.1.



Project: Prototipo de dispositivo para traslado de pacientes

Methodology: SM 2013

Scorecard

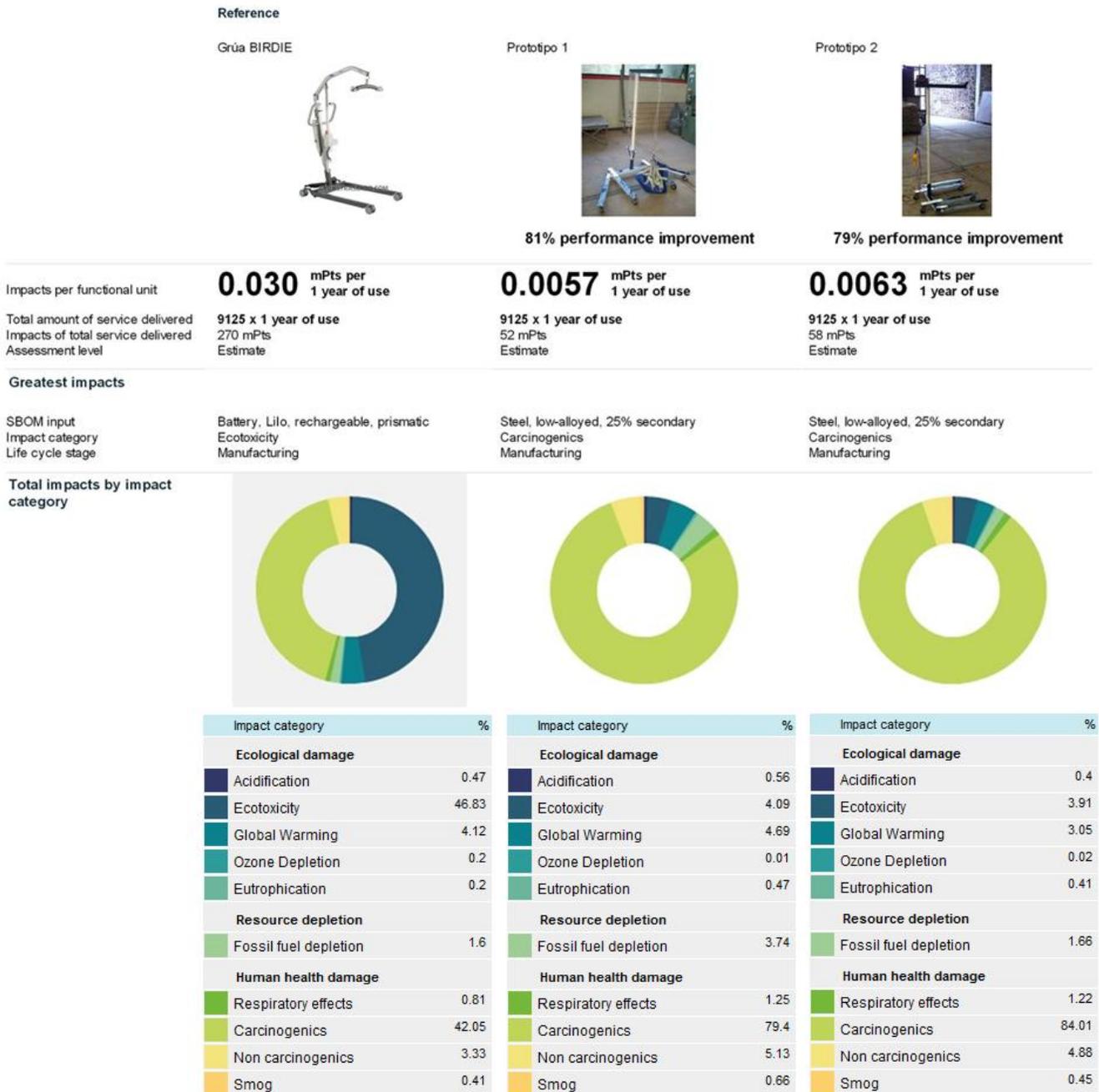


Figura 8.1 Resultados del análisis en Sustainable Minds.

La puntuación de mili puntos (mPts) indica el comportamiento general en el medio ambiente del producto evaluado. Como puede observarse la cantidad de mili puntos de ambos prototipos es mucho menor que la referencia, lo que nos indica una gran mejora del rendimiento en ambos casos, 81% para el prototipo 1 y 79% para el prototipo 2.

Los resultados también muestran los materiales de cada concepto que tienen mayor impacto ecológico, en el caso de la grúa BIRDIE las baterías recargables y en el caso de ambos prototipos el acero de baja aleación. Cada uno de los conceptos genera distintos tipos de impacto ecológico los cuales se muestran en la gráfica que se encuentra debajo de cada concepto, estos tipos de impacto están divididos en tres categorías daño ecológico, agotamiento de recursos y los que causan daño a la salud de los humanos, el ANEXO 8 describe a que se refiere cada uno de los impactos mencionados en el análisis.

Es importante hacer notar que la ecotoxicidad y los carcinógenos de la grúa BIRDIE representan 88.88% de impacto ecológico, mientras que en los prototipos 1 y 2 los carcinógenos representan 79.4% y 84.01% respectivamente pero esto se encuentra referido al impacto total de servicio el cual en el caso de la grúa BIRDIE es de 270 mPts y en el caso del prototipo 1 y 2 es de 52 y 58 mPts respectivamente, lo que hace que los prototipos 1 y 2 sean en promedio 80% mejores que la referencia. Otro aspecto que hace que los prototipos 1 y 2 sean mejores respecto de la grúa BIRDIE, es que no usan baterías las cuales contienen sustancias que no pueden reciclarse y si no son tratadas correctamente causan un daño permanente en el ecosistema.

Como puede observarse el prototipo 1 y 2 son mejores en comparación con el concepto de referencia, en este caso la grúa BIRDIE, pero el prototipo 2 fue elegido debido a la necesidad del cliente que indicaba que prefería un modelo automático, de cualquier forma la calificación, por así decirlo, del prototipo 2 no está muy alejada de la del prototipo 1.

De acuerdo al estudio del software el material que presenta mayor contaminación en ambos prototipos es el acero de baja aleación, por lo que para lograr un prototipo más sustentable hay que sustituir este material por otro que represente menos contaminación para el medio ambiente. Otra solución puede ser usar varios tipos de materiales que en combinación no rebasen, y en el mejor de los casos reduzcan, la contaminación que presenta el material actual del prototipo.

Conclusiones

El resultado obtenido de esta tesis fue un prototipo funcional para traslado de un paciente en hospitales. Este prototipo fue diseñado contemplando las necesidades particulares de usuarios, como lo son pacientes, personal de clínicas y doctores. Se hicieron pruebas en un hospital con médicos que expresaron su interés por el desarrollo, destacando ventajas y señalando oportunidades de mejora.

Se obtuvo un diseño que se distingue de los que existen comercialmente en varias partes: en primera su sistema de levantamiento que utiliza un malacate eléctrico, en segunda la base que se conforma de 2 patas fijas y 2 patas móviles, y en tercera la columna que gira con el brazo para trasladar a un paciente de un lugar a otro sin necesidad de mover toda la estructura. Con la conjunción de estas características y después de haber investigado patentes y grúas comerciales, puede asegurarse que este es un modelo original e innovador.

Adicionalmente, se hizo una evaluación de la sustentabilidad del prototipo desarrollado, identificando oportunidades de mejora. El análisis de sustentabilidad realizado es suficiente para el propósito de esta tesis, pero puede ser que se requiera de uno más detallado en el caso de que se pretenda una producción en masa del prototipo.

Todo el proceso de desarrollo del proyecto fue de vital importancia para la realización del mismo, aunque hay ciertas actividades que son las más representativas. Una de éstas es las encuestas realizadas a pacientes y al personal del hospital, ya que con ellas obtuvimos información muy importante directa de la fuente sobre las necesidades, además de que al estar realizando entrevistas pudimos observar el modo, no muy eficiente, en que las personas son trasladadas. Otra actividad que fue crítica para el proyecto fue lograr diseñar una grúa distinta de las existentes, y aunque la estructura básica es parecida a otras grúas el funcionamiento es totalmente distinto, por lo que podemos afirmar que la originalidad del diseño se logró satisfactoriamente, logrando así un diseño innovador. Otra de las actividades más destacadas fue las pruebas del prototipo 1 que se realizaron en el hospital, ya que con las oportunidades de mejora que se presentaron y las observaciones del Dr. David Rojano y el Dr. Vicente Borja (asesor de esta tesis), logramos llegar a la construcción del prototipo 2 que cumplió con los objetivos planteados.

Como en todo proyecto realizado es necesario comentar que el prototipo construido puede mejorarse en varios aspectos, pero los cambios inmediatos que requiere el prototipo como para ser comercializado son: agregar una pieza extra en la que se coloquen las correas del arnés, que permita que éste se sujete con tres correas de cada lado, para impedir que los hombros de un paciente se junten demasiado, algo similar a los ganchos con los que cuentan las grúas comerciales. Colocar un soporte para la fuente que alimenta al malacate eléctrico. Agregar una especie de volante conectado a una barra sujeta a la parte trasera de

la base para empujar más fácil el prototipo. Colocar guardas de hule o plástico y tapas donde sea necesario. Agregar calcomanías con instrucciones de cómo operar el prototipo y algunas otras de advertencias sobre el cuidado de éste. Colocar un tope a la columna para limitar el giro de ésta y que no de toda la vuelta para evitar algún accidente. Agregar una polea en el extremo del brazo, en vez del rodillo, por el que pase el cable del malacate eléctrico.

Es importante mencionar que para el diseño del primer y segundo prototipo se consideraron criterios relacionados con sustentabilidad, por lo que el análisis de sustentabilidad presentado en el capítulo 8 muestra mejoras de 80% en promedio con respecto de una grúa comercial, por lo que podemos concluir que el prototipo logrado es mucho más sustentable que los existentes, aunado a esto que se han identificado estrategias de mejora para el prototipo.

Comentarios finales

Cabe destacar que el proceso de realización del prototipo proporcionó una visión amplia de lo que es la manufactura, en especial si consideramos la adquisición del material como parte de ésta, el trato con proveedores y la búsqueda de éstos para adquirir los materiales necesarios para la realización del prototipo, fue particularmente enriquecedora, y aunque como estudiante tuve la oportunidad de tener que buscar materiales específicos para algunos proyectos, no se comparó en nada con la realización de este proyecto.

También es importante mencionar que el prototipo realizado puede mejorarse en varios aspectos, ya sea rediseñándolo, agregando o sustituyendo piezas, lo cual es un aspecto que reafirmé con este proyecto, las cosas siempre pueden hacerse más eficientes con el análisis indicado, la experiencia necesaria y la ayuda de especialistas en otras disciplinas distintas a la ingeniería. El apoyo de mi compañero de tesis y la de profesores y otros compañeros fue de vital importancia para que este proyecto se concretara satisfactoriamente.

Hubo algunas dificultades que se presentaron en la realización de este proyecto, pero la mayoría fueron de carácter externo a los conocimientos adquiridos a lo largo de mis estudios, como el trato con la gente de los talleres donde se elaboró la mayor parte de las piezas del prototipo. En cuanto a las dificultades sucedidas ligadas directamente con el conocimiento estudiantil, fueron causadas por errores que considero que se le presentan a cualquier “principiante” en el diseño. Las dificultades presentadas en la realización del proyecto fueron las que me dejaron una mayor enseñanza.

Otra cosa que cabe destacar es que en México existe una gran oportunidad de mercado para el diseño y manufactura de equipo para sector salud, ya que artefactos como las grúas y otros equipos de rehabilitación suelen importarse de otros países, lo cual eleva el precio de los objetos, lo que ocasiona que sea difícil que el gobierno adquiera equipos que son necesarios para facilitar el trabajo en los hospitales y por tanto mejorar el servicio en los mismos. Por lo anterior mencionado creo que sería de gran ventaja fabricar este tipo de productos en México, así nuestro país podría dejar de importar este tipo de equipos e incluso tendría la posibilidad de exportar los equipos nacionales.

Bibliografía

- Bare, Jane; Gloria, Tom and Norris, Greg, Development of the Method and U.S. Normalization Database for Life Cycle Impact Assessment and Sustainability Metrics, *Environmental Science and Technology*, / VOL. 40, NO. 16, 2006
- Bare, J. (2011) TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 13(5); United States Environmental Protection Agency (2012). Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) User's Manual. Document ID: S-10637-OP-1-0.
- Beer, P. Ferdinand. *Mecánica de materiales*. Cuarta edición. México, D.F. McGraw-Hill Interamericana, 2007. Apendice B, p. 748.
- Cherem E. Marcos. "¿Cuánto mide México? El tamaño sí importa". Cámara Nacional de la Industria del Vestido [en línea]. 7 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.canaive.org.mx/detalleNoticias.php?id_nota=832>
- Chye Ing Lim. *Sustainable Manufacturing Portal* [en línea]. Universidad de Loughborough, Reino Unido. 2009. Disponible en World Wide Web: <<http://www.centreforsmart.co.uk/smp/index.php>>
- Díez García, Miguel Ángel. *Técnicas de movilización y traslado de pacientes en general* [en línea]. Hospital de Medina del Campo aula de formación, España. Mayo 9 de 2011. Página 6. Disponible en World Wide Web: <http://issuu.com/maisaguevara/docs/tecnicas_de_movilizacion_y_traslado_de_paciente_de>
- ISO 14044:2006 Environmental management. Life cycle assessment, Requirements and guidelines Disponible en Word wide web: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38498>
- Lautier A., et al. (2010). Development of normalization factors for Canada and the United States and comparison with European factors. *Science of the Total Environment*. 409: 33-42.
- Lozada Bastida, Ricardo. "Revisión de principios de ecodiseño e integración al diseño conceptual". Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM 21 al 23 de septiembre, 2011 San Luis Potosí, México. Disponible en Word Wide Web: <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2011/pdfs/A1/A1_104.pdf>
- Pahl G., Beitz, W. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Tercera edición. Alemania, 2007.

- Smith-Temple J, Young J. *Guía de Procedimientos para enfermeras*. Editorial Panamericana. 1995.
- Sustainable minds, learning-center. Disponible en Word wide web:
<<https://app.sustainableminds.com/learning-center/why-sustainable-minds/introduction>>
- Sustainable minds, learning-center. Disponible en Word wide web:
<<https://app.sustainableminds.com/learning-center/why-sustainable-minds/about-methodology>>
- Sustainable minds, learning-center. Disponible en Word Wide Web:
<<https://app.sustainableminds.com/learning-center/methodology>>

ANEXO 1

Técnicas de movilización

1. Movilización por segmentos hasta el borde de una cama (figura a): se requiere que dos personas situadas cada una a un lado de la cama y seguir el procedimiento a continuación descrito:

Colocarse de pie junto a la cama, lo más cerca posible del lado hacia el cual se va a mover al paciente. Colocar el brazo más cercano del paciente por encima de su pecho. Inclinar el tronco hacia delante desde las caderas. Doblar éstas, las rodillas y los tobillos. Adelantar un pie y situar el peso del cuerpo sobre el mismo.

A) Mover la cabeza y tronco del paciente (primer segmento):

Colocar los brazos y las manos (juntas y con las palmas hacia arriba), debajo de las escápulas del paciente. Flexionar los dedos alrededor del hombro más alejado del paciente y apoyar los codos encima de la cama. Si el paciente no es capaz de sostener su cabeza durante el movimiento, se coloca el brazo más cercano a la cabecera de la cama de tal manera que el paciente pueda apoyar su cabeza en el mismo. Tensar los músculos glúteos, abdominales, de las piernas y de los brazos, y trasladar el peso del propio cuerpo desde el pie más adelantado al más atrasado, a la vez que se tira de los hombros hacia el lado deseado.

B) Mover las nalgas del paciente (segundo segmento):

Juntar las propias manos y brazos por debajo de las nalgas del paciente. Tirar de éstas hacia el lado de la cama deseado, de la misma manera que se acaba de describir.

C) Mover las piernas y los pies del paciente (tercer segmento):

Colocar las propias manos juntas, por debajo de los tobillos del paciente. Tirar de las piernas y los pies del paciente hacia el lado de la cama deseado, repitiendo los pasos citados anteriormente¹⁸.

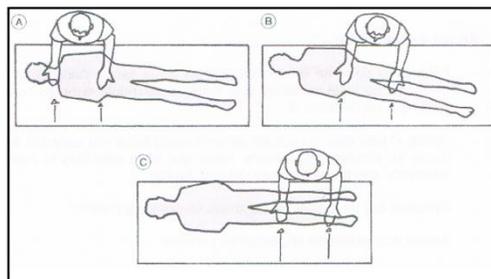


Figura a. Movilización por segmentos.

2. Girar a un paciente en la cama hasta la posición de decúbito lateral (figura b): el paciente debe de estar en el centro de la cama y se hace lo siguiente:

¹⁸ Díez García, Miguel Ángel. Técnicas de movilización y traslado de pacientes en general [en línea]. Hospital de Medina del Campo aula de formación, España. Mayo 9 de 2011. Página 14. Disponible en World Wide Web: <http://issuu.com/maisaguevara/docs/tecnicas_de_movilizacion_y_traslado_de_paciente_de>

Mover al paciente hacia el lado de la cama contrario al que va a mirar cuando lo giremos. Mientras nos encontremos de pie en el lado de la cama más cercano al paciente, debemos cruzar su brazo más cercano por encima de su pecho. Además separaremos ligeramente de su cuerpo el brazo más alejado. Colocar el tobillo y el pie más cercanos al paciente por encima del otro pie y tobillo. Colocarnos en el lado de la cama hacia el que vamos a girar al paciente, a nivel de la cintura de éste y lo más cerca posible de la cama. Inclinar el tronco hacia delante desde las caderas. Flexionar éstas, las rodillas y los tobillos. Adelantar un pie y apoyar el peso del cuerpo sobre el mismo. Colocar una mano debajo de la cadera del paciente más alejada de nosotros y la otra debajo del hombro del mismo lado. Tensar los músculos glúteos, abdominales, de las piernas y de los brazos. Balancearse hacia atrás, trasladando el peso del cuerpo desde el pie más adelantado al más atrasado, mientras se gira al paciente de manera que su cuerpo quede de cara hacia nosotros¹⁹.

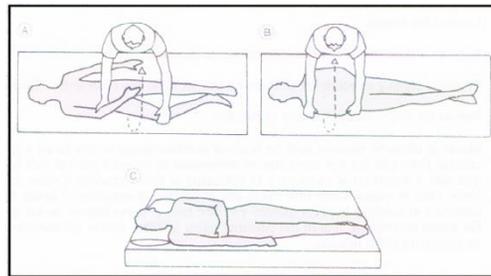


Figura b. Colocación de un paciente en decúbito lateral.

¹⁹ *Ibidem*, p. 15.

ANEXO 2

Técnicas de traslado

1. Traslado del paciente de una cama a una silla (figura c): existen numerosas variedades de esta técnica. La elección de una u otra, estará en función de las características del paciente (tamaño, capacidad para obedecer instrucciones, fuerza muscular, movilidad articular, etc.)

A) Ante un paciente que colabora.

Puede realizarse por un camillero. Situar el sillón o silla de ruedas próximo a la cama, a la altura de los pies. Ayudar al paciente a sentarse a la orilla de la cama, según la técnica conocida. Comprobar que el paciente no se marea en esa posición. Situarse frente al paciente. El camillero le sujetará por la cintura con ambas manos, mientras que el paciente se apoya en los hombros. Girar simultáneamente con el paciente, hasta situarle delante del sillón o silla de ruedas donde se sentará y acomodarle.

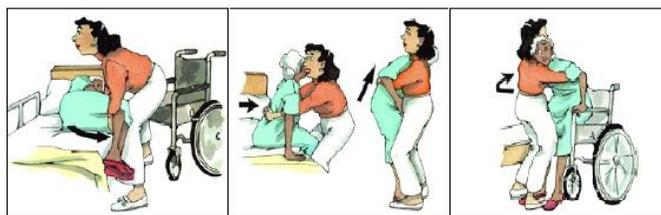


Figura c. Traslado de un paciente de una cama a una silla.

B) Ante un paciente que no colabora: parapléjicos.

Son necesarios dos camilleros. Colocar la cama en posición de Fowler (figura d). Situar el sillón o silla de ruedas, paralelo junto a la cama, con el respaldo próximo a la cabecera. Un Auxiliar se situará detrás del respaldo de la silla o sillón y otro frente a él. El primer camillero colocará sus brazos bajo las axilas del paciente, sujetándolo con las manos por el extremo inferior de los antebrazos, que el paciente tendrá cruzados sobre el tórax. El segundo camillero le sujetará por debajo de los muslos. En un movimiento simultáneo, trasladará al paciente a la silla o sillón, sin arrastrarle, donde quedará acomodado²⁰.



Figura d. Posición de Fowler.

2. Traslado del paciente de una cama a una camilla: el transporte desde la camilla hasta la cama se realiza de la forma inversa a la que a continuación se describe:

²⁰ *Ibidem*, p. 26.

A) Ante un paciente que colabora (figura e).

Situar la camilla, cubierta con una sábana, en paralelo a la cama y frenar ambas para evitar desplazamientos imprevistos. Pedir al paciente que se deslice hasta la camilla, en cuya tarea colabora el camillero.

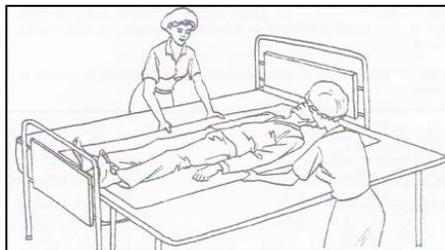


Figura e. Traslado de un paciente que colabora de una cama a una camilla.

B) Ante un paciente que no colabora: parapléjico (figura f).

Para realizar esta técnica con seguridad son necesarias, por lo menos, tres personas. Colocar la camilla, cubierta con una sábana, perpendicularmente a la cama, de forma que contacte los pies con la cabecera. Destapar al paciente, retirarle la almohada y colocarle los brazos sobre el tórax. Sujetarle entre los tres camilleros, colocándole un brazo debajo del cuello y hombros y el otro bajo la cintura. El segundo camillero situará un brazo bajo la cintura y el otro brazo bajo los glúteos; el tercero colocará un brazo bajo los muslos y el otro bajo las piernas. Mover al paciente hasta la orilla de la cama, al unísono. Trasladar al paciente en un movimiento simultáneo, como si se tratase de un bloque, hasta la camilla, sin arrastrarle, donde se le depositará con suavidad. Acomodarle y cubrirle²¹.

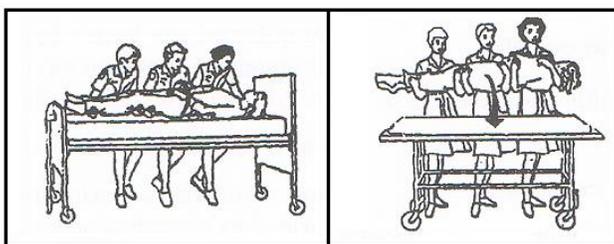


Figura f. Traslado de un paciente que no colabora de una cama a una camilla.

²¹ *Ibidem*, p. 27.

ANEXO 3

Formas de colocación de un arnés para grúa

1. Colocación de un arnés en la posición decúbito lateral (figura g): girar al enfermo en decúbito lateral (en enfermos con fractura de cadera, colocar una almohada doblada entre las piernas, para evitar que las junte), colocar el arnés y una entremetida si el enfermo no la tuviese hacia la mitad, luego hacerlo girar hacia el decúbito contrario y acabar de estirar el arnés y entremetida.

Luego las bandas de las piernas, se pasan por debajo de ambas piernas y se entrecruzan, la de la pierna derecha para colgar en el gancho izquierdo y la de la pierna izquierda en el gancho derecho. Es muy importante que en enfermos con fractura de cadera las piernas queden separadas por eso se entrecruzan las cintas del arnés²².

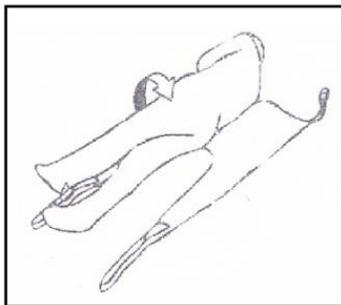


Figura g. Colocación de un arnés en decúbito lateral.

2. Colocación de un arnés en la posición de sentado (figura h): incorporar al enfermo hasta la posición de sentado, colocar el arnés de arriba-abajo, por debajo de una sábana entremetida, hasta la altura de la cintura. Acostar de nuevo al enfermo y hacer pasar las bandas de las piernas, justo por debajo de los muslos y cruzarlas como en el método de decúbito lateral. Una vez colocado el arnés al enfermo, elevar un poco el brazo de la grúa, y acercarse a la cama o silla desde donde se desee movilizar al enfermo y colocar las bandas más cortas (hombros) en los enganches del lado correspondiente o en la percha supletoria si se dispone de ella, en la posición más corta, es decir, más cercana al cuerpo del arnés. Y a continuación las bandas más largas (piernas) en la posición más alejada, o sea, la de la punta de la banda y entrecruzarlas de modo que la derecha se coloque en el enganche izquierdo y la izquierda en el derecho, así el enfermo, irá más sentado al elevarlo.

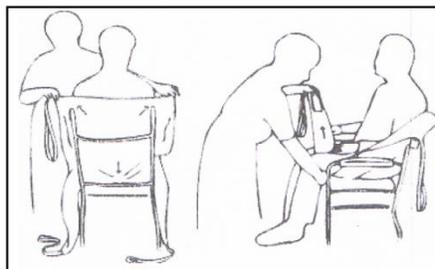


Figura h. Colocación de un arnés en la posición de sentado.

²² *Ibidem*, p. 21.

Elevar con suavidad, hasta una altura de separación entre la cama y el enfermo, abrir las patas de la grúa para aumentar el radio de estabilidad de la misma y procurar mayor seguridad en el traslado; transportar al enfermo, hasta el sillón o viceversa; situar encima del sillón y descender, hasta la posición de sentado.

En el supuesto de que el enfermo necesite sujeción adicional y pudiendo dejarle puesto el arnés, se usarán las bandas largas de las piernas, para sujetar en los brazos del sillón, de este modo el enfermo no se escurrirá del sillón con tanta facilidad²³.

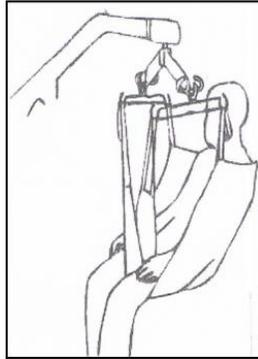


Figura i. Arnés colocado.

Cabe destacar que el método de colocación de un arnés depende del tipo de arnés con el que se cuente, el más común es del tipo mostrado en la figura i.

²³ *Ibidem*, p. 22.

ANEXO 4

Encuesta realizada a pacientes del Hospital del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad De Medicina Física Región Centro

1. ¿Con que frecuencia necesita movilizarse a otras áreas del hospital?
2. ¿Quiénes le ayudan a movilizarse: camilleros, enfermeras o familiares?
3. ¿Cuántas personas le ayudan a trasladarse de su cama a otro mobiliario?
4. ¿Cuánto tiempo espera por alguien que lo ayude?
5. ¿Se siente usted cómodo cuando lo trasladan?
6. ¿Ha sufrido usted algunas lesiones por traslados?
7. ¿Cómo describiría los dispositivos de traslado más comunes: camillas, sillas de ruedas, etc.?
8. En el caso de existir un aparato o dispositivo que lo auxiliara a trasladarse en forma cómoda y rápida ¿Cómo se imagina que sería este dispositivo (características, funciones, operación, etc.)?

ANEXO 5

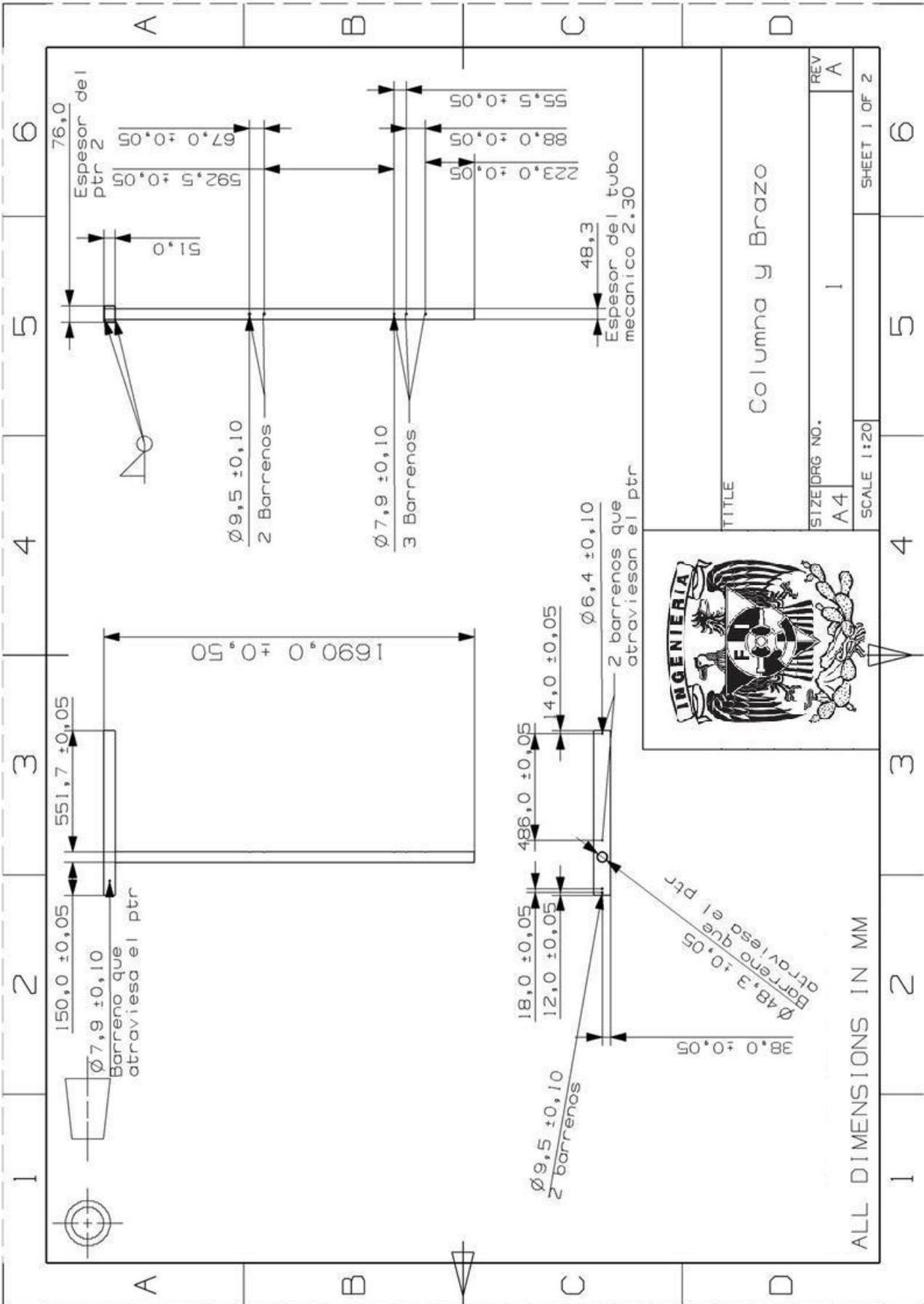
Imágenes de las grúas del estudio comparativo (tabla 3.5)

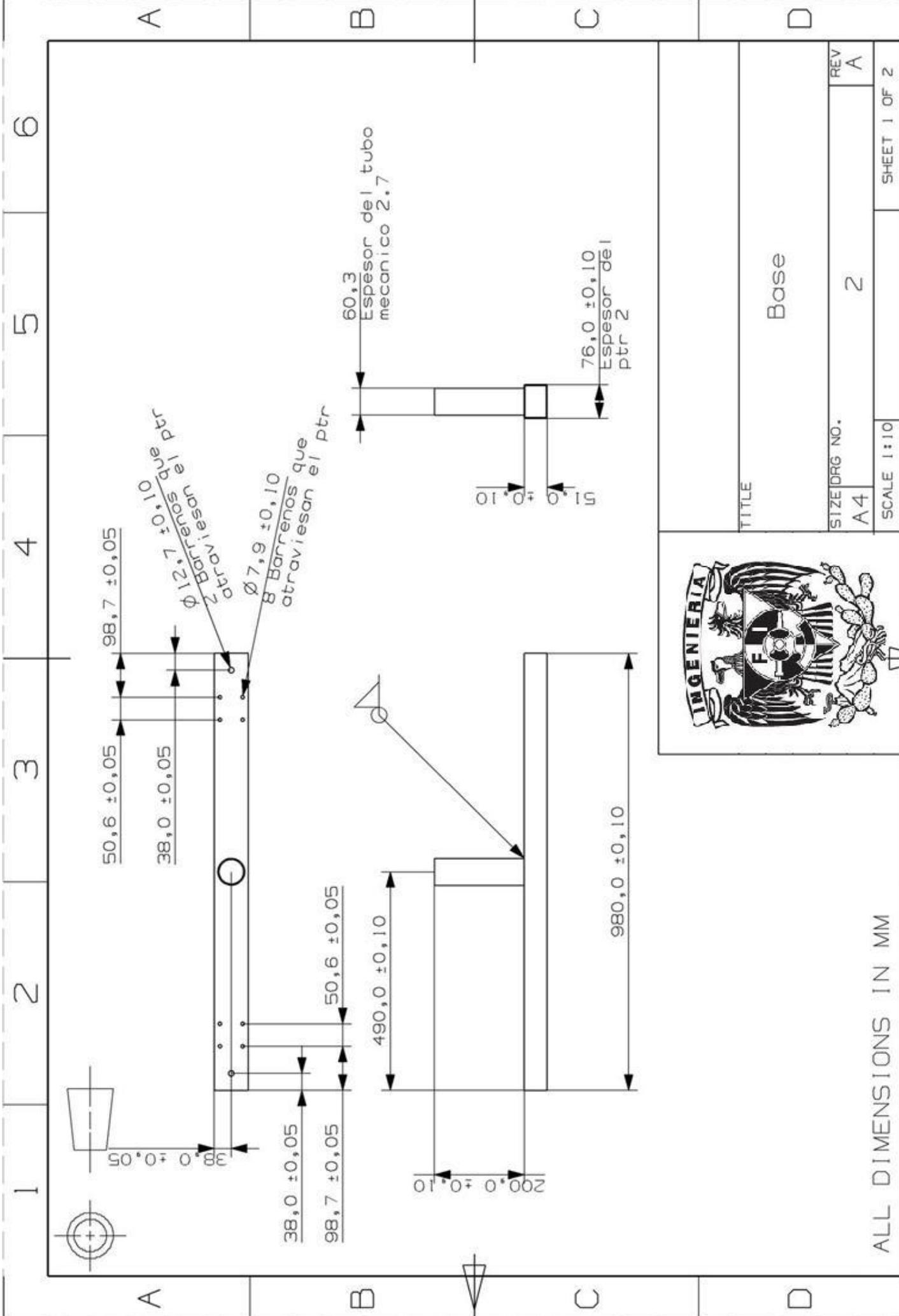
<p>Grúa económica para pacientes</p>	
<p>Grúa importada para pacientes</p>	
<p>Grúa BIRDIE</p>	
<p>Grúa móvil para personas con discapacidad</p>	
<p>Chrome Hydraulic Lift</p>	

<p>Painted Hydraulic Lift</p>	
<p>Reliant 450 Battery-Powered Lift with Low Base</p>	
<p>Invacare® Jasmine™ Premier Series Full Body Lift</p>	
<p>Reliant 600 Heavy-Duty Power Lift with Power Opening Low Base</p>	
<p>Diana Comfort E</p>	
<p>Tonya</p>	

ANEXO 6

Planos de partes no comerciales





TITLE

Base

SIZE DRG NO.
A4 2

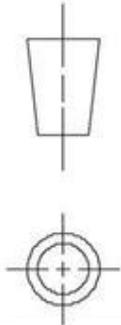
REV
A

ALL DIMENSIONS IN MM

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 2

1 2 3 4 5 6



$\varnothing 12,7 \pm 0,10$
Barreno que
atraviesa el ptr

$38,0 \pm 0,05$
 $12,7 \pm 0,05$
 $75,6 \pm 0,05$

$\varnothing 17,8 \pm 0,10$
4 Barrenos que
atraviesan el ptr

$12,7 \pm 0,05$
 $12,7 \pm 0,05$

$700,0 \pm 0,10$
 $100,0 \pm 0,10$

$550,0 \pm 0,10$

76,0
Espesor del
ptr 2

51,0



TITLE

Pata movi l

SIZE DRG NO.
A4 4

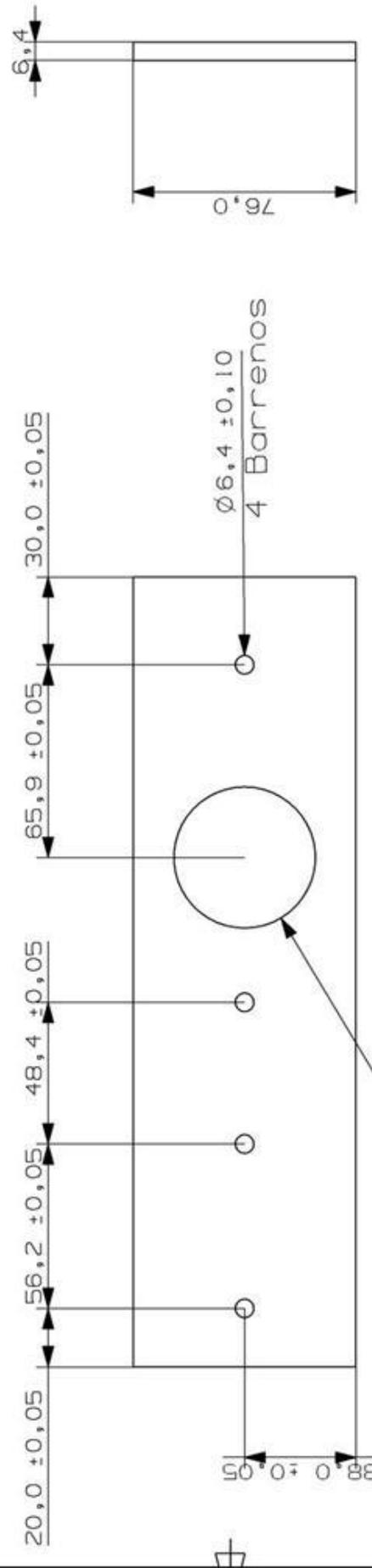
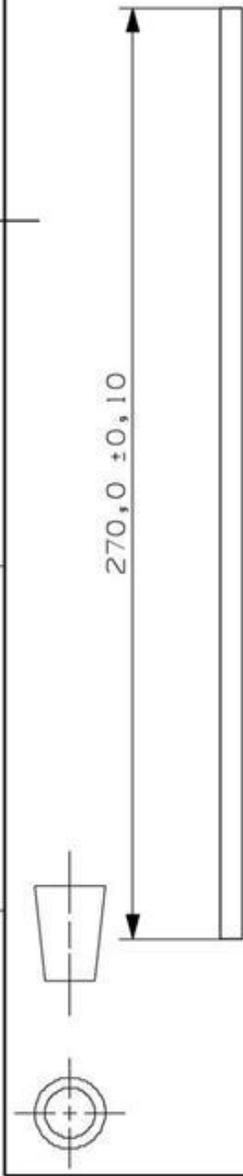
REV
A

ALL DIMENSIONS IN MM

SHEET 1 OF 2

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6



TITLE

Base de poleas

SIZE DRG NO.

5

REV

A

SCALE 1:2

SHEET 1 OF 2

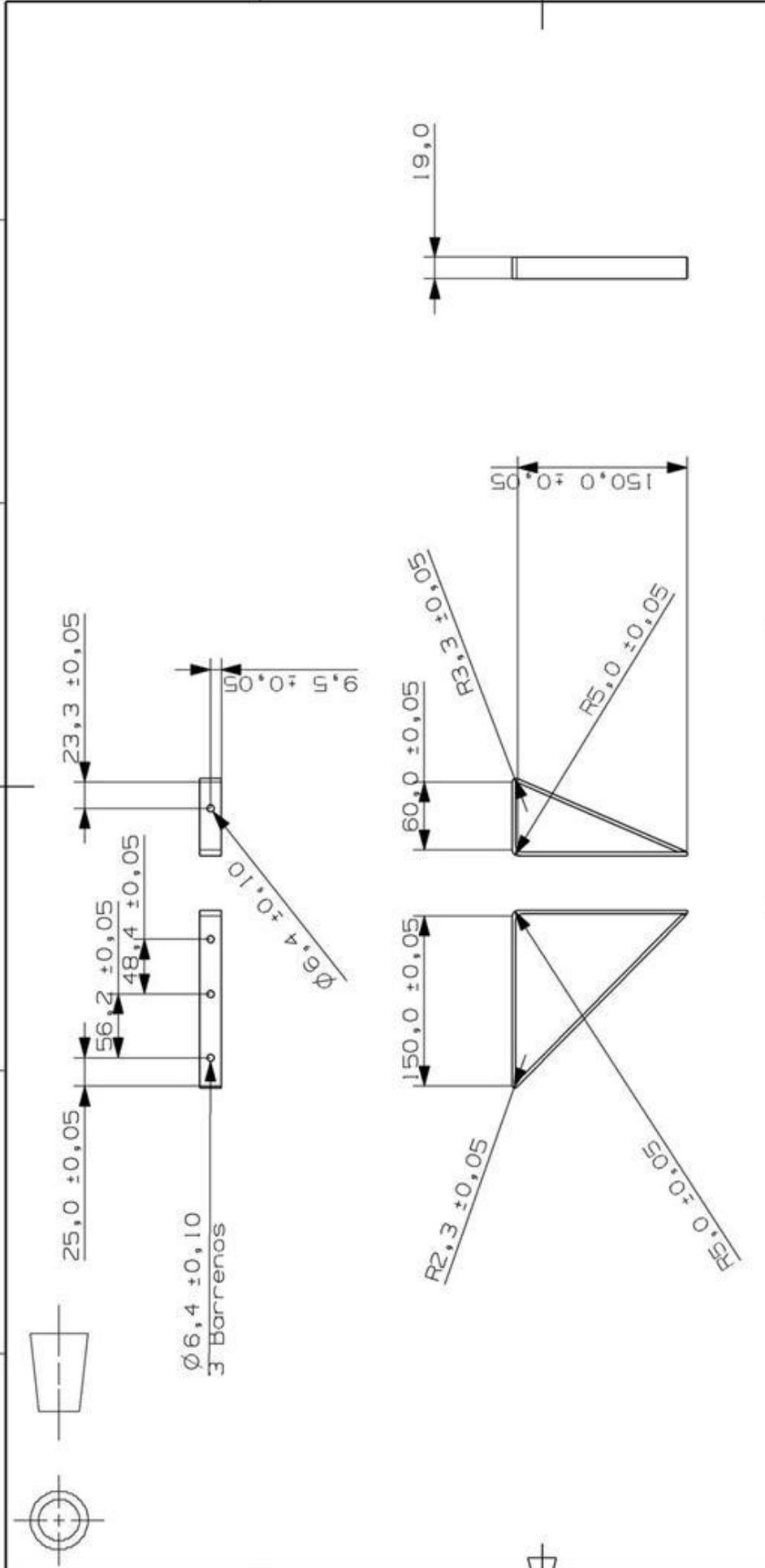
A B C D

1 2 3 4 5 6

ALL DIMENSIONS IN MM

A B C D

1 2 3 4 5 6



TITLE		Escuadras	
SIZE DRG NO.	A 4	6	REV A
SCALE	1:5	SHEET 1 OF 2	



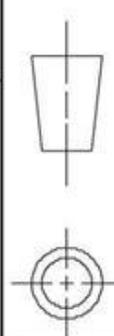
ALL DIMENSIONS IN MM

A B C D

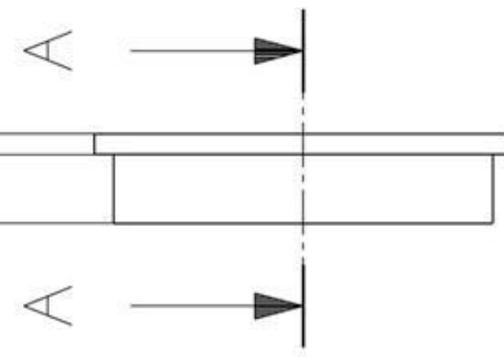
1 2 3 4 5 6

A B C D

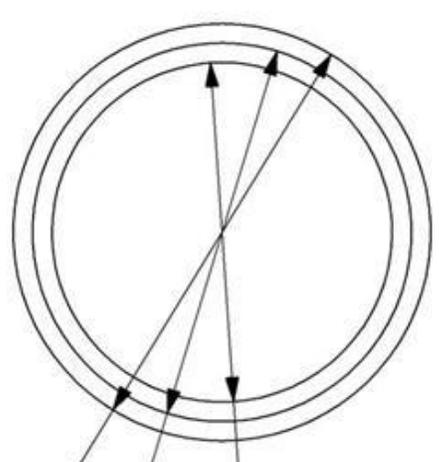
6 5 4 3 2 1



$3,0 \pm 0,05$
 $10,0 \pm 0,05$



$\varnothing 60,5 \pm 0,05$
 $\varnothing 54,9 \pm 0,05$
 $\varnothing 49,3 \pm 0,10$
 Barreno



SECTION A - A



TITLE

Buje superior

SIZE DRG NO.
 A4 7

REV
 A

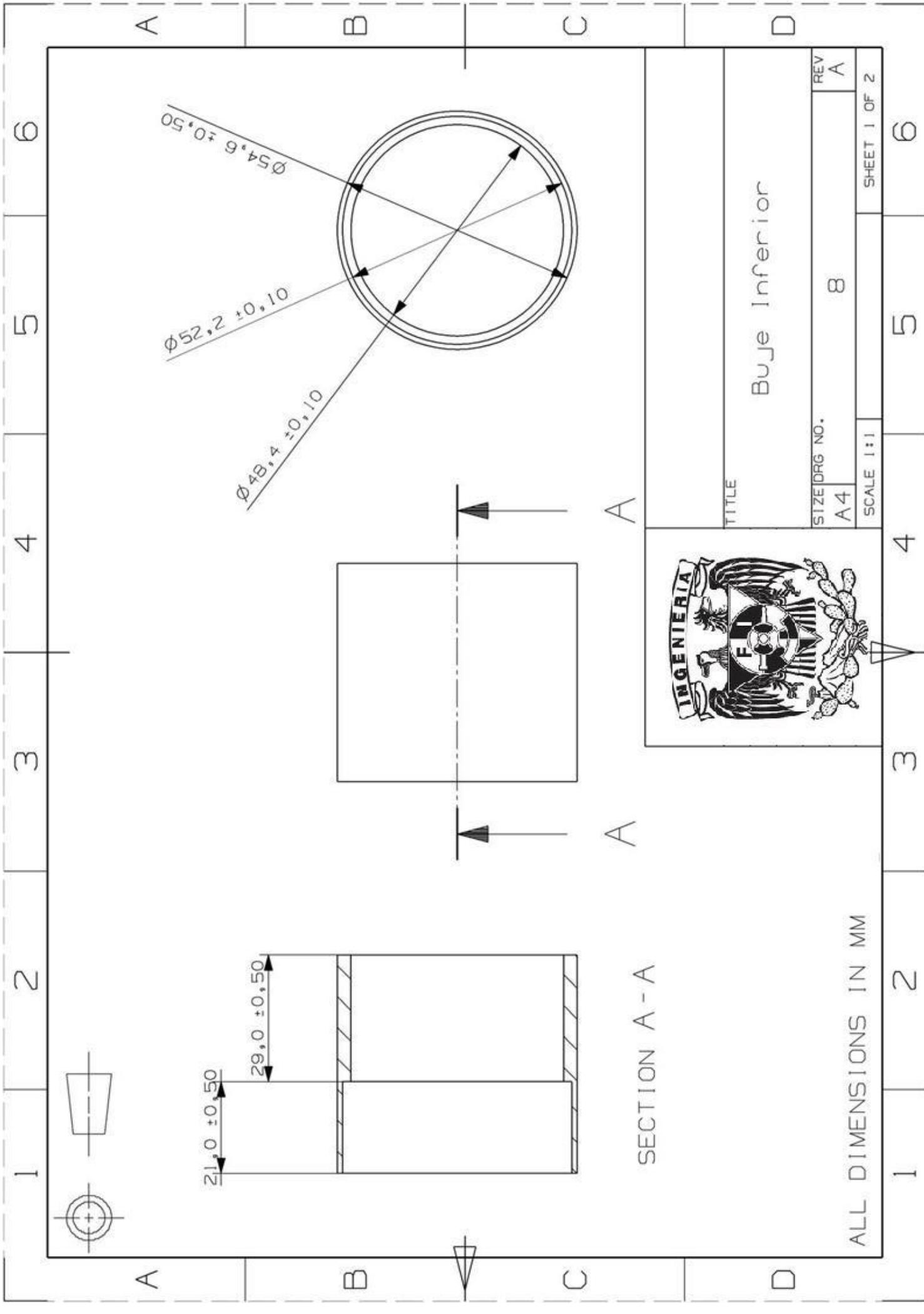
SCALE 1:1

ALL DIMENSIONS IN MM

SHEET 1 OF 2

A B C D

1 2 3 4 5 6



TITLE

Buje Inferior

SIZE DRG NO.

A4

8

REV

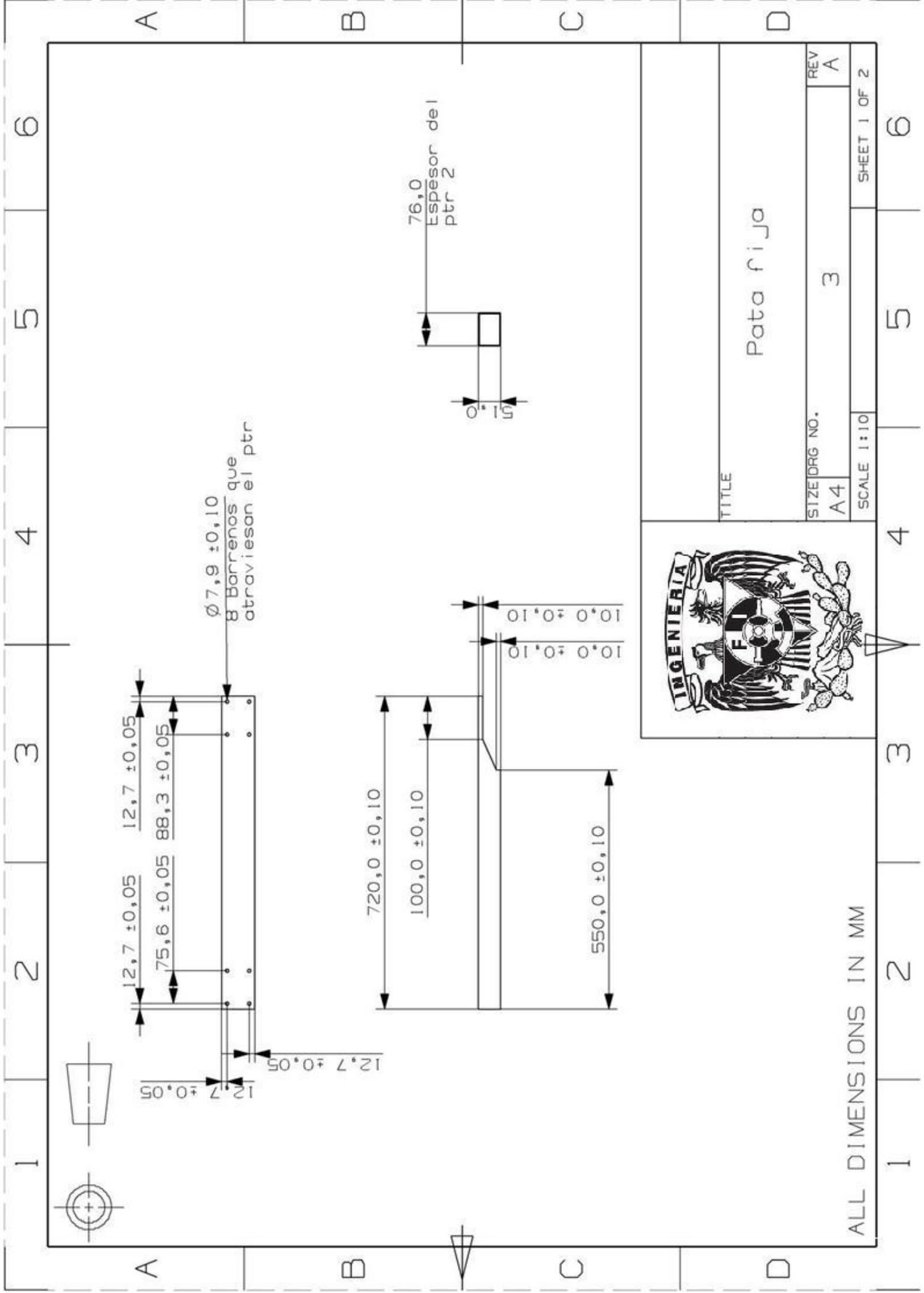
A

SCALE 1:1

SHEET 1 OF 2

ALL DIMENSIONS IN MM

SECTION A - A



TITLE

Pata fija

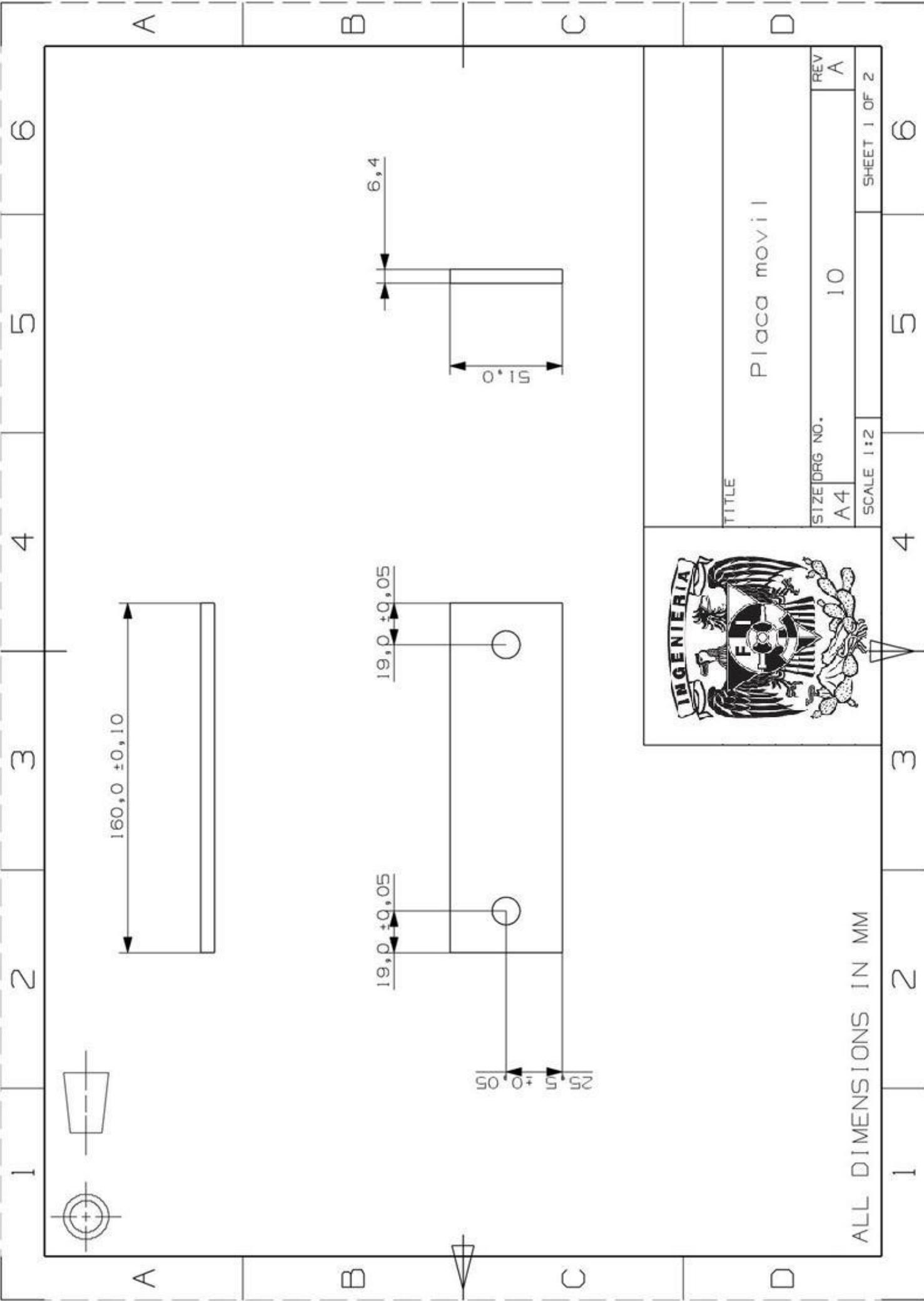
SIZE DRG NO.
A4 3

REV
A

SCALE 1:10

SHEET 1 OF 2

ALL DIMENSIONS IN MM



TITLE

Placa móvil

SIZE|DRG NO.

10

REV

A

SCALE 1:2

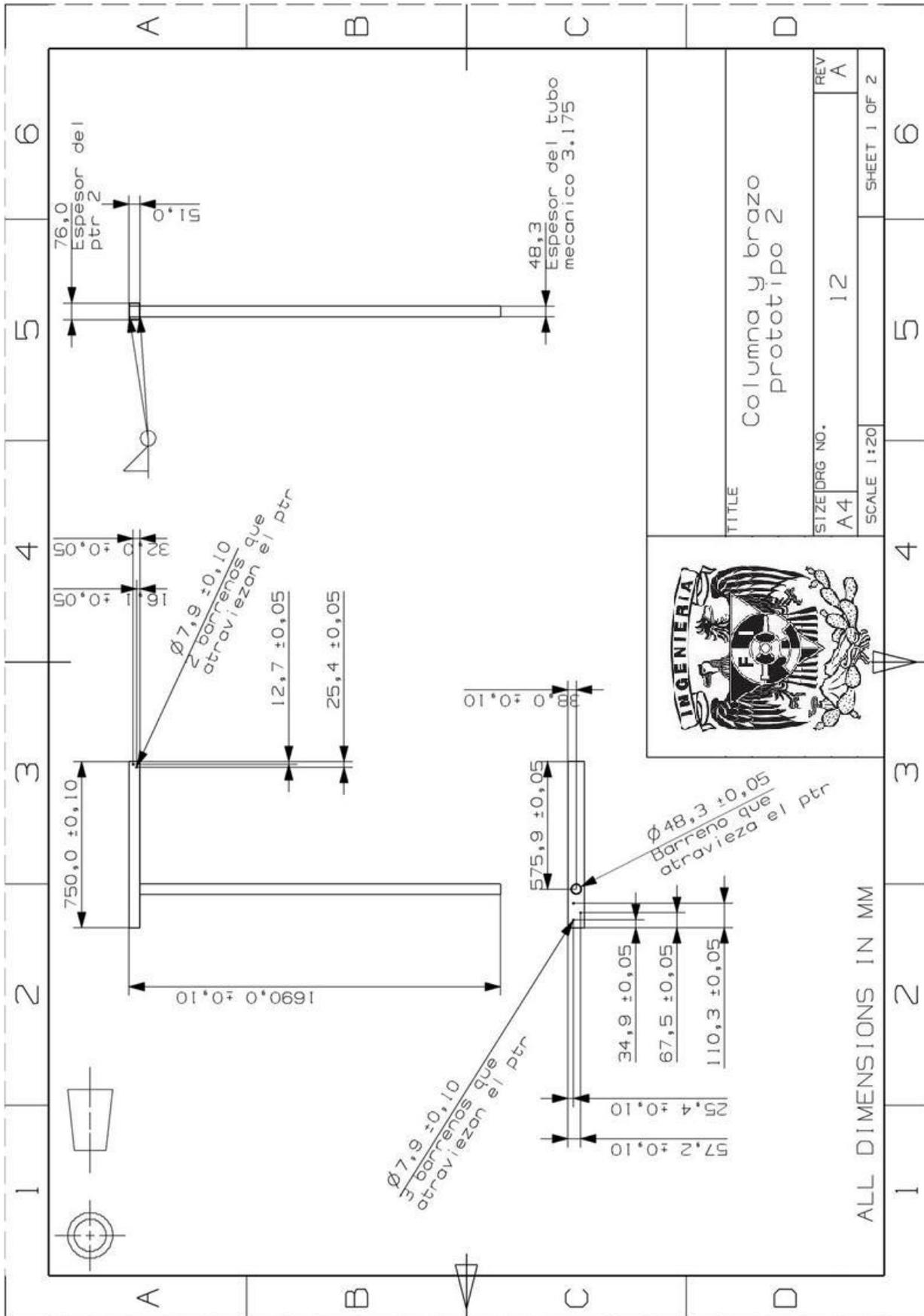
SHEET 1 OF 2



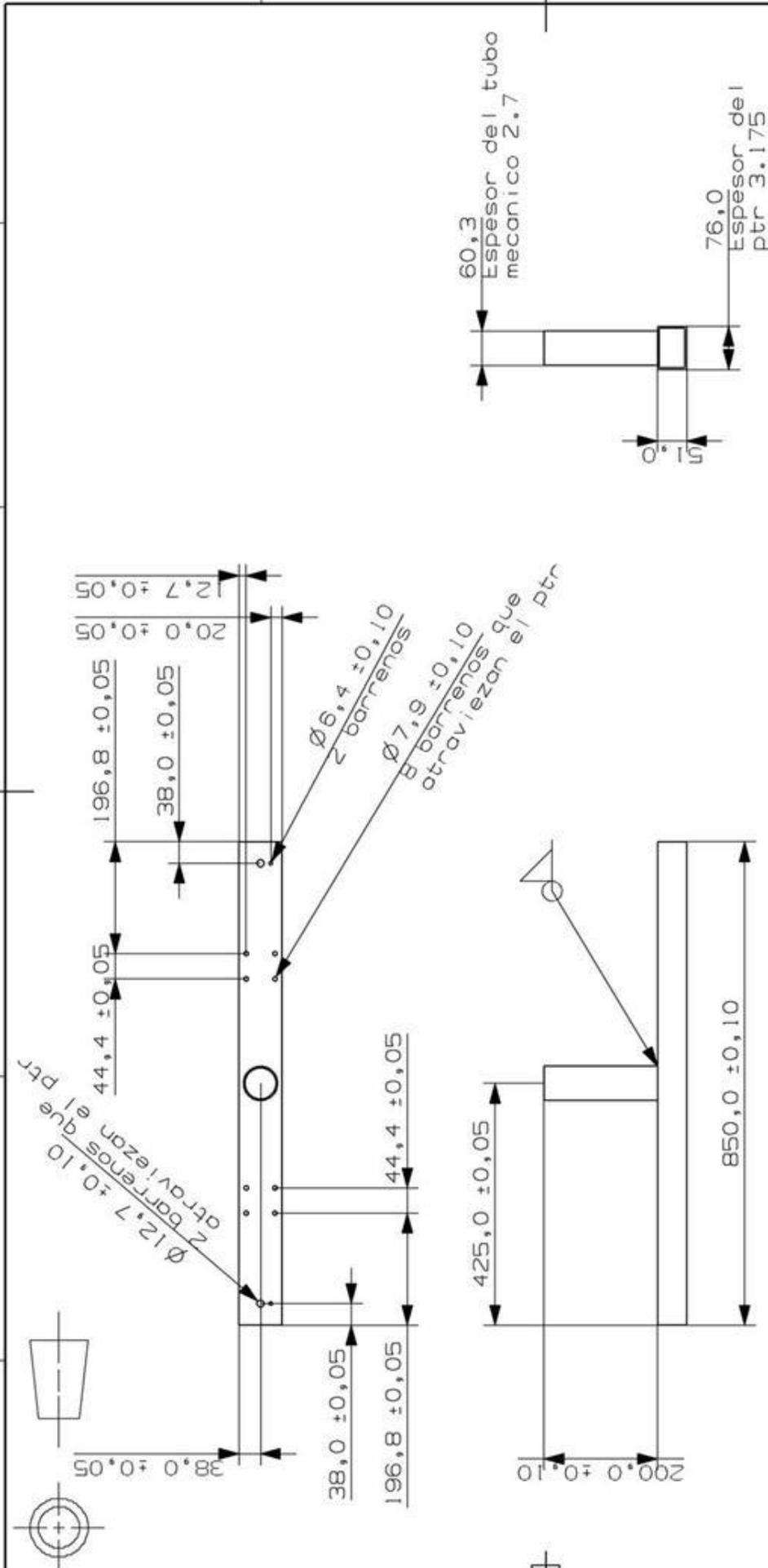
ALL DIMENSIONS IN MM

ANEXO 7

Planos de partes no comerciales del Prototipo 2



6 5 4 3 2 1



TITLE

Base prototipo 2

SIZE DRG NO.

A4

REV

A

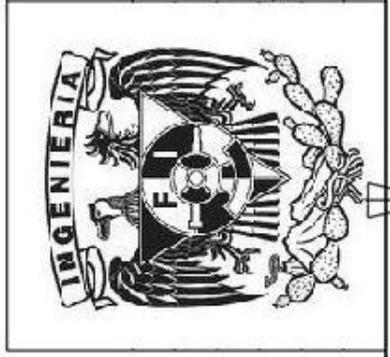
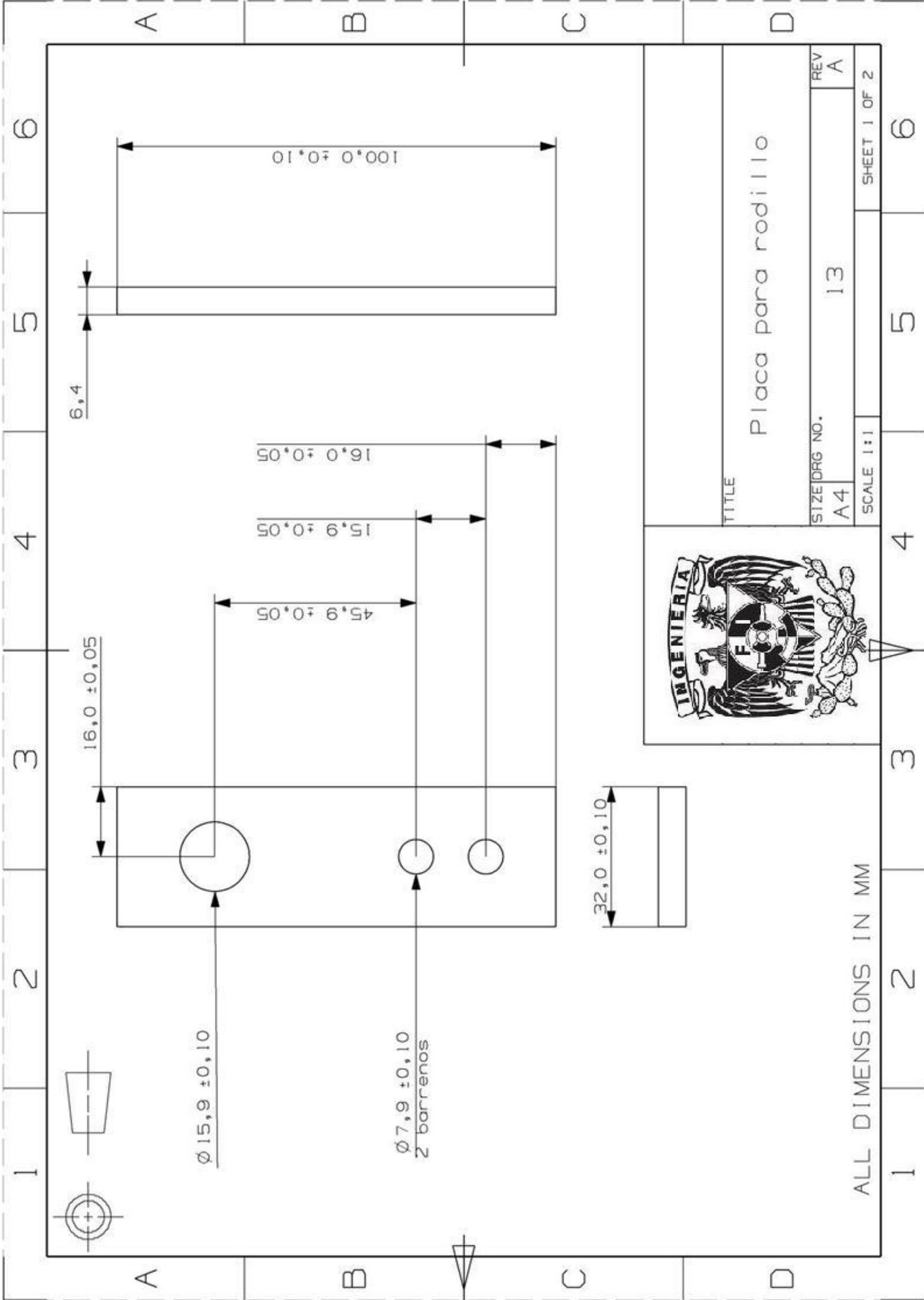
SCALE 1:10

SHEET 1 OF 2

A B C D

ALL DIMENSIONS IN MM

1 2 3 4 5 6



TITLE

Placa para rodillo

SIZE/DRG NO.

13

REV

A

SCALE 1:1

SHEET 1 OF 2

ALL DIMENSIONS IN MM

ANEXO 8

Tipos de impactos ecologicos utilizados por *Sustainable Minds*²⁴

Daño ecologico:

- Acidificación. Es la distribución de los compuestos ácidos que viajan en el aire y se depositan en la tierra, agua y ciudades. La acidificación causa lluvia acida y cambia el pH del agua y la tierra, lo que ocasiona la muerte de peces y plantas respectivamente.
- Ecotoxicidad. Es la capacidad de un producto químico o sustancia de dañar la salud o de matar plantas, animales y organismos microbianos. Los contaminantes ambientales son elementos hechos por el hombre que dañan la biosfera, éstos afectan la salud de los organismos y sus crías o perturbar el funcionamiento normal de los ecosistemas en los que viven.
- Calentamiento global. Es el aumento de la temperatura promedio de la atmosfera Terrestre debido a las emisiones generadas por el hombre en el aire. El calentamiento global se refiere más técnicamente por el "Cambio Climático Global", ya que si bien la temperatura media de la superficie de la Tierra aumenta, algunas áreas pequeñas pueden experimentar descensos de temperatura.
- El agotamiento del ozono. Es la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera de la Tierra por las emisiones generadas por el hombre en el aire.
- Eutrofización. Es un proceso natural de envejecimiento que tiene lugar durante un largo período de tiempo en lagos y otros cuerpos de agua. Los nutrientes entran en el agua para fomentar el crecimiento de la vida acuática, que agota el suministro de oxígeno. Por ejemplo, la masa de agua de un lago que va inundando un pantano y eventualmente puede llenarlo. Este proceso se puede acelerarse en gran medida por un excesivo enriquecimiento de nutrientes derivados de las actividades del hombre.

Agotamiento de recursos:

- Agotamiento de los combustibles fósiles. Es la extracción de las reservas de gas natural, petróleo y carbón a un ritmo tal que la naturaleza no alcanza a reponer los recursos.

Daños a la salud humana:

- Efectos respiratorios. Son sustancias en el aire que perjudican la salud humana, debido a la Ley de Aire Limpio de 1963 y las posteriores modificaciones, los niveles de muchos contaminantes se han reducido. Incluso en los niveles actuales los contaminantes suponen una grave amenaza para la salud de los seres humanos y el medio ambiente.

²⁴ Disponible en Word Wide Web: < <https://app.sustainableminds.com/learning-center/methodology>>

- Carcinógenos. Los carcinógenos, teratógenos y mutágenos son sustancias químicas que alteran la estructura genética de ADN humano, a tal grado que causan el crecimiento anormal de las células que el cuerpo humano no puede contrarrestar.
- No carcinógenos. Estos son lo que no alteran la estructura genética de ADN humano pero que aún presentan un daño a la salud. Se refiere a los productos químicos tóxicos que dañan la salud de una persona o incluso puede matarla. Miles de productos químicos sintéticos que circulan en nuestro ambiente cotidiano causan cáncer y defectos de nacimiento. Productos químicos comunes que se encuentran en los alimentos, el agua y el aire tienen el potencial de afectar a nuestra salud.
- Smog. Es la contaminación del aire creado por la liberación de óxidos de nitrógeno generados por el hombre (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) a la atmósfera.