

ENTREGABLE FINAL CAMA HOSPITALARIA

*Jorge Mario Sierra Peña ** Juan Sebastián Tuirán Arias***Ethan Franco Bula Páez
*****Iván Andrés Lea Barón .

* Estudiante de Ingeniería Mecánica, Código: 200148495

** Estudiante de Ingeniería Mecánica, Código: 200153948

*** Estudiante de Ingeniería Mecánica, Código: 200152124

**** Estudiante de Ingeniería Mecánica, Código: 200152361

Profesores:
Heriberto Maury
Jaime Mesa Cogollo

Laboratorio de Diseño de Sistemas Mecánicos Universidad del Norte

Fecha (29-05-23)

Barranquilla-Colombia

Tabla de contenido

1.0 Introducción	4
2.0 Formulación del problema	5
2.1 Opciones de mercado:	6
2.2 Búsqueda de patentes:	8
2.3 Códigos y normativa aplicable:.....	9
3.0 Definición de especificaciones	9
4.0 Generación de conceptos	10
4.1 Descripción de alternativas	11
5.0 Evaluación y selección de alternativas.....	14
6.0 Análisis cinemático y cinético	15
6.1 Análisis cinético del espaldar.....	16
6.2 Análisis cinético de las piernas.	17
6.3 Análisis cinético del sistema de elevación.	18
7.0 Síntesis de accionamiento	18
7.1 Transmisiones.	19
7.2 Síntesis de cojinete y lubricante.	19
8.0 Síntesis de uniones.....	21
9.0 Análisis estructural	22
10.0 Planos de detalle del sistema	24
11.0 Presupuesto.....	24
12.0 Conclusiones y recomendaciones.....	25
13.0 Referencias.....	25

Lista de Tablas.

Tabla 1. Patentes de Cama Hospitalaria.....	8
Tabla 2. Especificaciones del problema	9
Tabla 3. Alternativas de componentes para la cama hospitalaria.	10
Tabla 4. Alternativas de diseño.....	11
Tabla 5. Velocidades y aceleraciones de la cama.....	16
Tabla 6. Síntesis de transmisiones.....	19
Tabla 7: Presupuesto por subsistema y total	24

Lista de figuras.

Ilustración 1. Cama hospitalaria comercial Biotronitech Colombia S.A [2]	6
Ilustración 2. Modelo comercial cama hospitalaria [3]	7
Ilustración 3. Soportes de nivel, espaldar [4]	8
Ilustración 4. Espaldar ajustable de la cama hospitalaria [4]	8
Ilustración 5. Cama de hospital con cinta rodante [5]	8
Ilustración 6. Cama de hospital combinada con camilla, estática [6]	8
Ilustración 7. Cama de hospital combinada con camilla, acoplamiento móvil. [6]	8
Ilustración 8. Caja negra de la cama hospitalaria	10
Ilustración 9. Caja transparente de la cama hospitalaria.	10
Ilustración 10. Esquema alternativa 1	11
Ilustración 11. Esquema alternativa 2.	12
Ilustración 12. Esquema alternativa 3.	13
Ilustración 13. Cama hospitalaria con altura al mínimo. Componentes totalmente retraídos.	14
Ilustración 14. Cama hospitalaria con altura al máximo. Componentes totalmente desplegados.	15
Ilustración 15. Perfil cinemático de la cama de hospital	16
Ilustración 16. Análisis de fuerza del espaldar	17
Ilustración 17. Análisis de fuerza de las piernas	17
Ilustración 18. Análisis de fuerzas de la cama	18
Ilustración 19. Gráfica de selección de cojinete	20
Ilustración 20. Gráfica de lubricantes	21
Ilustración 21. Perno de barra de elevación	22
Ilustración 22. Prueba de falla (vista 1)	23
Ilustración 23. Prueba de falla (vista 2)	23
Ilustración 24. Planos del sistema (medidas en mm)	24

Introducción

Las camas hospitalarias desempeñan un papel de vital importancia en el cuidado de los pacientes. El tiempo que pasamos en estas camas, ya sea de manera temporal o permanente, representa una parte significativa de nuestra vida dedicada al descanso y la recuperación. Es particularmente relevante en casos como el de la tercera edad, donde se ha observado que aproximadamente el 50% de las personas mayores de 65 años presentan dificultades para conciliar el sueño [1]. En el entorno hospitalario, es crucial que las camas brinden un entorno confortable para los pacientes, a la vez que faciliten las tareas del personal médico y de enfermería en todas sus actividades. Desde los traslados rutinarios hasta los procedimientos urgentes en quirófanos, las camas hospitalarias deben cumplir con estándares elevados de comodidad, confiabilidad y facilidad de manipulación. Es esencial que las camas hospitalarias estén diseñadas para ofrecer un adecuado soporte y confort, teniendo en cuenta las necesidades individuales de cada paciente. Además, deben contar con características ergonómicas que faciliten la movilización, el posicionamiento y la atención médica, con el objetivo de optimizar el cuidado y la recuperación de los pacientes.

En este contexto, se vuelve imperativo realizar investigaciones exhaustivas y desarrollar propuestas innovadoras que mejoren no solo la calidad del servicio proporcionado por las camas hospitalarias, sino también brinden soluciones confiables y prácticas para el personal médico en la manipulación de estos dispositivos. El objetivo es garantizar un entorno óptimo que permita al personal médico desempeñar sus funciones de manera eficiente y efectiva, optimizando así el cuidado y la atención al paciente. En este informe, se presentará el método utilizado para seleccionar diferentes alternativas de diseño para la cama de hospital, con el objetivo de cumplir con los requisitos adecuados. Además, se llevará a cabo un análisis cinemático y cinético de la alternativa seleccionada en condiciones de operación estándar, con el fin de determinar el tipo de accionamiento y unión que se utilizará.

El enfoque de selección de diseño se basa en criterios técnicos y funcionales para garantizar que la cama de hospital cumpla con los estándares requeridos. Se evaluarán diferentes alternativas considerando factores como la comodidad del paciente, la facilidad de uso para el personal médico y la seguridad en la operación. Posteriormente, se realizará un análisis detallado de la cinemática y la cinética de la alternativa seleccionada. Esto implica estudiar los movimientos y fuerzas involucradas en las diferentes funciones de la cama, como el ajuste de altura, la inclinación y el posicionamiento del paciente. Este análisis permitirá determinar el tipo de accionamiento y las uniones adecuadas para garantizar un funcionamiento óptimo y confiable de la cama en condiciones estándar de operación.

El objetivo final de este estudio es diseñar una cama de hospital que cumpla con los requerimientos específicos, asegurando la comodidad y seguridad del paciente, así como la eficiencia en el trabajo del personal médico.

2.0 Formulación del problema

Inicialmente, se diseñó y aplicó una encuesta dirigida a un estudiante de medicina en las etapas avanzadas de su carrera. El propósito de esta encuesta fue permitirle entrevistar a los pacientes que se encontraban en la sala de urgencias, con el fin de recopilar información sobre las diversas patologías que podrían presentarse. Los resultados de la encuesta se registraron en forma de grabaciones de audio que detallan las respuestas proporcionadas por los diferentes pacientes (ver anexo).

A partir del análisis de los resultados de la encuesta, se pudieron obtener especificaciones clave que influyen en el diseño del proyecto. Estas especificaciones se basan en la información recopilada directamente de los pacientes y reflejan las necesidades y requerimientos específicos identificados durante las entrevistas.

Es importante destacar que el análisis de la encuesta y las especificaciones resultantes son fundamentales para guiar el diseño y desarrollo de soluciones adecuadas. La información recopilada directamente de los pacientes proporciona una base sólida para comprender las patologías más comunes y las preocupaciones específicas de los pacientes en el entorno de urgencias. Estas especificaciones se utilizarán como referencia clave en la etapa de diseño del proyecto, asegurando que se aborden de manera efectiva las necesidades identificadas durante la encuesta.

- Altura de la espalda ajustable para facilitar el trabajo del personal médico de baja estatura.
- Barandillas ajustables para garantizar la seguridad de los pacientes con riesgo de caídas.
- Espaldar reclinable que permita a los pacientes dormir en diferentes posiciones.
- Capacidad de soportar a pacientes con sobrepeso.
- Comodidad adecuada para estadías prolongadas.
- Movilidad para facilitar el cuidado y atención del paciente a través de largas distancias.
- Piernas reclinables para brindar una posición más cómoda.
- Fácil limpieza para su uso posterior con otros pacientes.
- Sistema de frenado para garantizar la seguridad en los distintos movimientos.

Estas especificaciones buscan mejorar la funcionalidad, comodidad y seguridad de las camas hospitalarias, permitiendo un cuidado óptimo de los pacientes y una mejor experiencia tanto para ellos como para el personal médico y de enfermería.

2.1 Opciones de mercado:

Entre las diversas opciones disponibles en el mercado, destaca el producto ofrecido por Biotronitech Colombia S.A., el cual presenta características sobresalientes como se muestra en la figura 1. Estas características incluyen:

1. Espaldar reclinable: La cama cuenta con un respaldo ajustable que permite al paciente encontrar la posición más cómoda para descansar o recibir atención médica.
2. Sistema de bloqueo para las ruedas: Para garantizar la seguridad y estabilidad de la cama, se ha implementado un sistema de bloqueo en las ruedas, evitando movimientos indeseados durante el uso.
3. Panel de control con comunicación al personal de enfermería: El panel de control integrado en la cama facilita la comunicación entre el paciente y el personal de enfermería. Permite realizar solicitudes o llamar a la enfermera de manera rápida y sencilla.
4. Extensión adicional de 20 cm: Esta cama cuenta con una extensión adicional de 20 cm, brindando mayor espacio para el paciente y permitiendo un mayor confort durante su estancia en el hospital.
5. Control remoto de mano: Se incluye un control remoto de mano que permite al paciente ajustar el respaldo y el reposapiés según sus necesidades y preferencias, brindando mayor autonomía y comodidad.
6. Ajuste máximo del espaldar y reposapiés: El espaldar puede inclinarse hasta un ángulo máximo de 70 grados, mientras que el reposapiés puede ajustarse hasta un ángulo máximo de 40 grados, ofreciendo múltiples opciones de posición para adaptarse a las necesidades individuales del paciente.
7. Barandillas ergonómicas: Las barandillas de la cama han sido diseñadas ergonómicamente, teniendo en cuenta tanto el confort del paciente como la facilidad de uso para el personal del hospital.

Estas características destacadas hacen del producto de Biotronitech Colombia S.A. una opción a considerar para aquellos que buscan una cama de hospital que brinde comodidad, funcionalidad y seguridad tanto para el paciente como para el personal médico y de enfermería [2].



Ilustración 1. Cama hospitalaria comercial Biotronitech Colombia S.A [2]

En segundo lugar, es relevante mencionar los diferentes tipos de camas disponibles en el mercado, que varían según su función. En particular, nos centraremos en analizar la cama articulada eléctrica. Aunque cumple con los mismos requisitos que la oferta de la empresa Biotronitech, presenta diferencias en términos de nivel tecnológico, como se muestra en la figura 2.

La cama articulada eléctrica ofrece la capacidad de cambiar la posición del paciente y adaptarse a sus necesidades a través de un sistema de control automático. Esto brinda una mayor autonomía tanto al paciente como a su acompañante. A través de este sistema de control, se pueden ajustar la altura de la cama, el ángulo del respaldo y el reposapiés, permitiendo al paciente encontrar la posición más cómoda y adecuada para descansar o recibir atención médica.

Aunque no alcanza el mismo nivel tecnológico que la oferta de Biotronitech, la cama articulada eléctrica ofrece una solución eficaz y funcional para satisfacer las necesidades de comodidad y ajuste del paciente. Su sistema de control automático simplifica el proceso de adaptación de la cama a las preferencias individuales, brindando mayor comodidad y facilitando la labor del personal de atención médica.

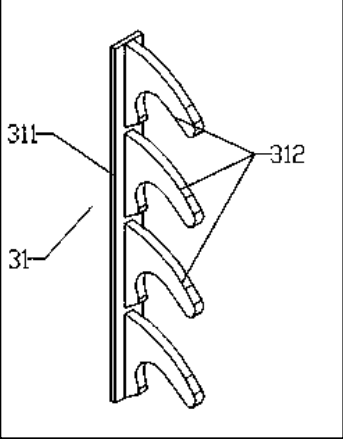
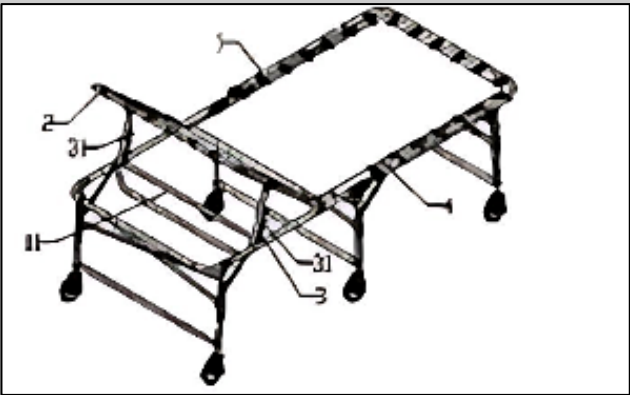
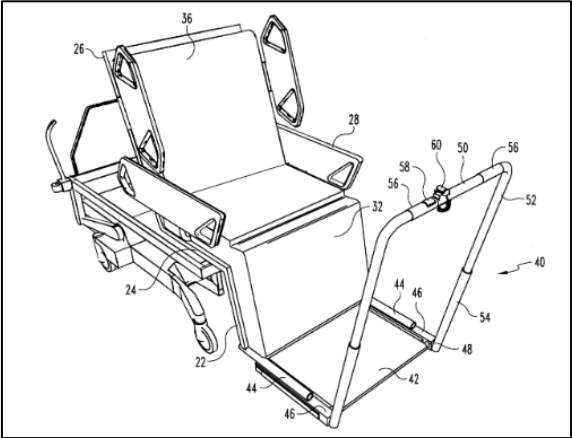
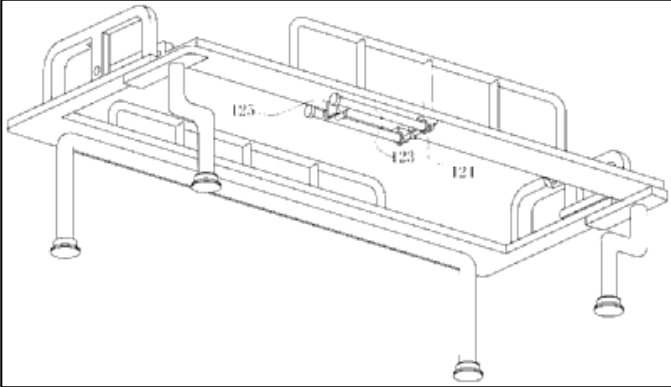
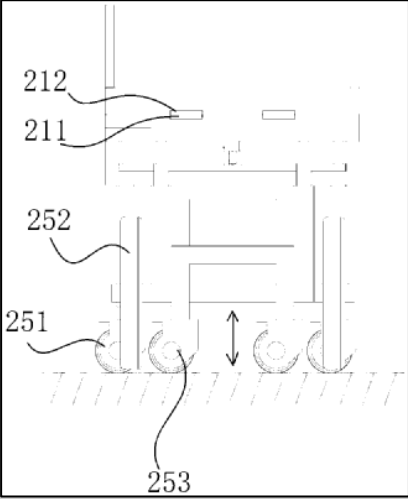
Es importante destacar que la elección entre la oferta de Biotronitech y la cama articulada eléctrica dependerá de las necesidades específicas del paciente y los requisitos particulares del entorno hospitalario. Ambas opciones ofrecen ventajas en términos de comodidad y ajuste, y la decisión final deberá basarse en una evaluación completa de las características, funcionalidades y preferencias individuales [3].



Ilustración 2. Modelo comercial cama hospitalaria [3]

2.2 Búsqueda de patentes:

Tabla 1. Patentes de Cama Hospitalaria

Patente	Descripción	Imagen	Patente
CN103784277- Hospital with adjustable backrest [4]	La patente analizada presenta un diseño innovador para el ajuste del espaldar en las camas de hospital. Mediante un sistema de ganchos integrados al marco de la cama y barras conectadas al espaldar, se logra un ajuste estable y cómodo. Este enfoque patentado ofrece una solución práctica y segura, permitiendo adaptar el respaldo de la cama a las necesidades y preferencias de cada paciente, brindando comodidad y bienestar durante su uso.	 Ilustración 3. Soportes de nivel, espaldar [4]	 Ilustración 4. Espaldar ajustable de la cama hospitalaria [4]
WOO 2008052220 Ambulatory Hospital Bed [5]	La patente propone agregar un sistema de ejercicio físico a una cama de hospital ajustable estándar, con el objetivo de acelerar la recuperación del paciente y brindar un mayor bienestar. La figura 4 ilustra la idea de la patente, donde se incorpora una cinta rodante o una bicicleta estacionaria para que el paciente pueda hacer ejercicio durante su proceso de recuperación. Además, se destaca el uso de ruedas en la base de la cama para facilitar el transporte del paciente de un lugar a otro con diversos fines. Este diseño innovador busca mejorar la experiencia del paciente, promoviendo la actividad física y ofreciendo mayor movilidad en el entorno hospitalario.	 Ilustración 5. Cama de hospital con cinta rodante [5]	
CN112535591 Hospital Bed and Stretcher combined Hospital Bed used for inpatient ward [6]	La patente busca mejorar el transporte de los pacientes mediante el diseño de una cama de hospital estándar con una sección extensora que se puede separar y utilizar como una camilla independiente. Este innovador sistema evita la necesidad de dispositivos externos y el levantamiento manual del paciente, lo que reduce el dolor y la necesidad de personal adicional en el transporte. La figura 5 ejemplifica este diseño, destacando el armazón de la sección fija y las ruedas de la sección extensora, que permiten el traslado cómodo y seguro de los pacientes. Esta patente ofrece una solución eficiente para mejorar la movilidad y el transporte en el entorno hospitalario.	 Ilustración 6. Cama de hospital combinada con camilla, estática [6]	 Ilustración 7. Cama de hospital combinada con camilla, acoplamiento móvil. [6]

2.3 Códigos y normativa aplicable: Durante la investigación de las normativas aplicables a las camas de hospital en Colombia, se identificaron dos normas clave que establecen los requisitos que deben cumplir estas camas.

- **Norma ISO 13485:2016:** Es una norma internacional que establece requisitos para el sistema de gestión de calidad en la fabricación de dispositivos médicos. Esta norma impone a las empresas responsables de la fabricación cumplir con diversas reglas, como el monitoreo continuo durante la fase de fabricación de los insumos y la documentación de cada producto realizado. Su objetivo es garantizar que se implemente un sólido sistema de gestión que asegure la calidad y seguridad de los dispositivos médicos producidos por estas empresas [7].
- **Norma IEC 60601-2-52:2009+AMD1:2015:** Esta norma establece los requisitos que deben cumplir todas las camas de hospital para garantizar un rendimiento óptimo y la seguridad durante su uso. Esta norma abarca aspectos importantes como la ergonomía, la seguridad eléctrica, la seguridad mecánica y la durabilidad de los componentes. Su objetivo es asegurar que las camas hospitalarias cumplan con los estándares necesarios para brindar un entorno seguro y confortable para los pacientes, así como facilitar el trabajo del personal médico y de enfermería [8].

3.0 Definición de especificaciones

Después de comparar con la norma correspondiente, se procedió a analizar las necesidades del cliente y convertirlas en especificaciones. Estos valores se presentan en la tabla 2, que servirá como base para el análisis cinemático y cinético del producto.

Tabla 2. Especificaciones del problema

Métrica	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
Altura ajustable	cm	≤ 40	≤ 60
Barandas ajustables	cm	35	40
Inclinación espaldas ajustable	grados	70	80
Resistencia a grandes cargas	kg	≥ 140	≤ 220
Ergonomía	Binario	Cumple	Cumple
Sistema de desplazamiento	km	4	8
Altura de las piernas ajustables	grados	30	40
Fácil limpieza	Binario	Cumple	Cumple
Sistema de frenado	Binario	Cumple	Cumple
Costo máximo	USD	≤ 800	≤ 650

4.0 Generación de conceptos

A continuación, se muestran en las ilustraciones 8 y 9 el desglose del diseño de la cama, lo cual proporciona una representación visual detallada del funcionamiento de la misma, facilitando su comprensión.

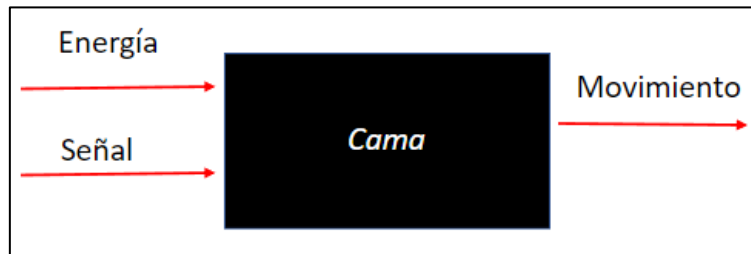


Ilustración 8. Caja negra de la cama hospitalaria.

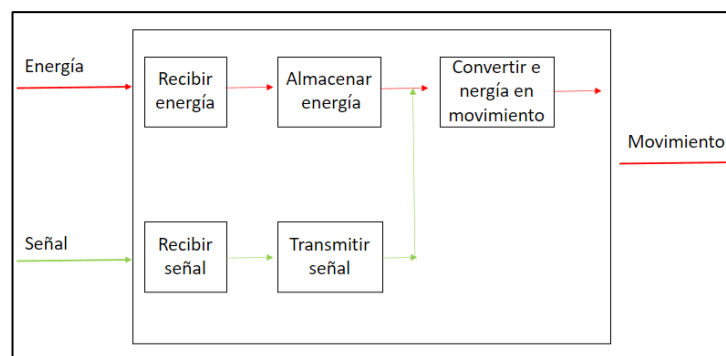


Ilustración 9. Caja transparente de la cama hospitalaria.

En la ilustración 9, se observa una caja transparente con una línea de energía y una línea de señal. La línea de energía está diseñada para que una batería reciba y almacene la energía, que luego se convierte en movimiento a través de un motor eléctrico. En cuanto a la línea de señal, se consideran tres dispositivos: un control remoto, botones ubicados en la cama o una perilla en la misma. Posteriormente, la señal se transmite a través de un contactor (en caso de utilizar control remoto o botones) o una resistencia variable (si se utiliza una perilla).

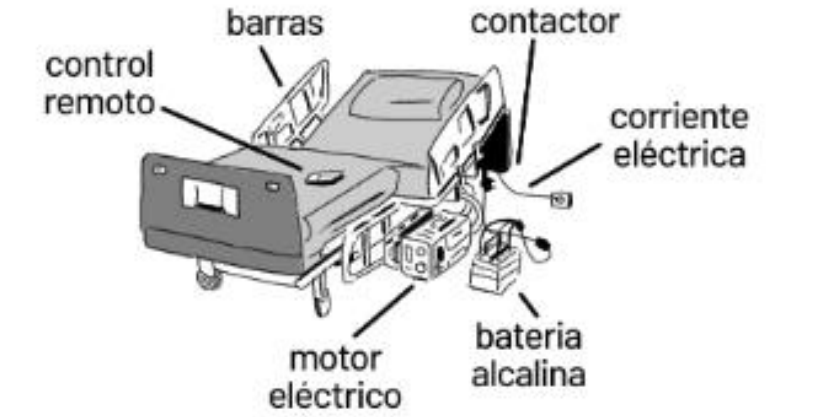
A continuación, se presenta una tabla con propuestas de alternativas para los componentes de la cama hospitalaria:

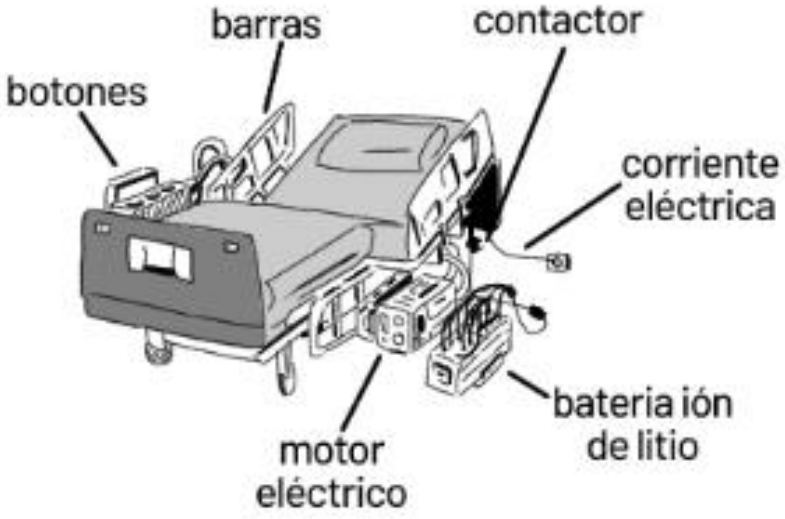
Tabla 3. Alternativas de componentes para la cama hospitalaria.

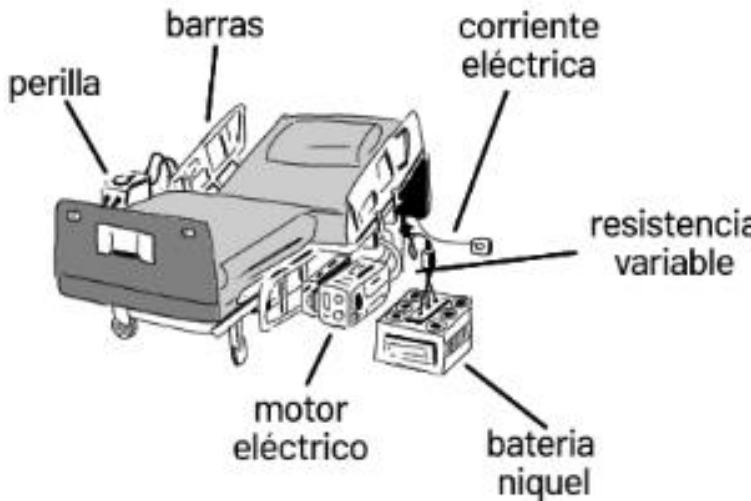
	Alternativa	1	2	3
1	Recibir energía	Corriente eléctrica	Corriente eléctrica	Corriente eléctrica
2	Almacenar energía	Batería alcalina	Batería ion de litio	Batería de Níquel
3	Convertir energía en movimiento	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Motor eléctrico
4	Transmisión	Barras	Engranajes	Barras
5	Recibir señal	Control remoto	Botones (en la cama)	Perilla
6	Transmitir señal	Contactor	Resistencia variable	Contactor

4.1 Descripción de alternativas

Tabla 4. Alternativas de diseño

Alternativa	Descripción	Ventajas/Limitaciones	Ilustración
Alternativa 1 (Corriente eléctrica, batería alcalina, motor eléctrico, barras, control remoto, contactor)	La cama hospitalaria será alimentada por energía eléctrica y contará con una batería alcalina para almacenarla. Tres motores eléctricos accionarán un mecanismo de barras para generar movimiento articulado. El control remoto enviará la señal al motor a través de un contactor.	La elección de una batería de Litio presenta varias ventajas, como su costo más económico, capacidad de proporcionar un alto nivel de energía constante y su carácter no tóxico para el medio ambiente en caso de desecho, otra ventaja es la capacidad de operar la cama de manera remota, lo que aumenta la eficiencia [9]. Sin embargo, es importante mencionar que las baterías alcalinas pueden presentar algunas desventajas, como un rendimiento menos eficiente a bajas temperaturas y un peso relativamente mayor [9].	<div><p>cama #1</p><p>Ilustración 10. Esquema alternativa 1</p></div>

<p>Alternativa 2 (Corriente eléctrica, batería ion de litio, motor eléctrico, engranajes, botones, contactor)</p>	<p>La cama hospitalaria se alimentará de energía eléctrica y contará con una batería de iones de Litio para almacenarla. Tres motores eléctricos accionarán un mecanismo de engranajes para generar movimiento articulado. Los botones ubicados en el barandal derecho de la cama enviarán la señal al motor, la cual será transmitida a través de un contactor.</p>	<p>Las baterías de níquel presentan varias ventajas, como su ligereza y su buen rendimiento a temperaturas bajas. Además, tienen una mayor durabilidad en comparación con las baterías alcalinas, llegando a ser un 40% a 100% más duraderas [10]. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas desventajas, como su rápida degradación, los posibles riesgos asociados con su desecho, su incapacidad para soportar altas temperaturas, así como su mayor costo y nivel de contaminación en comparación con las baterías alcalinas [10].</p>	<p>cama #2</p>  <p>Ilustración 11. Esquema alternativa 2.</p>
--	--	---	---

<p>Alternativa 3 (Corriente eléctrica, batería níquel, motor eléctrico, barras, perilla, resistencia variable)</p>	<p>La cama hospitalaria se alimentará de energía eléctrica y contará con una batería de níquel para almacenarla. Tres motores eléctricos accionarán un mecanismo de barras para generar movimiento articulado. La señal para el motor será enviada a través de una perilla y transmitida mediante una resistencia variable.</p>	<p>Las baterías de níquel presentan varias ventajas destacables. Por un lado, pueden mantener una tensión estable durante aproximadamente el 90% del ciclo de descarga, lo cual las hace superiores en comparación con otras baterías. También tienen una resistencia interna muy baja, lo que permite una carga rápida [11].</p> <p>Además, estas baterías suelen ser más económicas que las de litio. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas limitaciones. Debido a su baja impedancia interna, no se pueden cargar a una tensión constante, ya que esto generaría corrientes excesivas y podría provocar calentamiento y daño a la batería de níquel-cadmio (NiCd) [10].</p>	<div data-bbox="2110 183 2893 880"><p>cama #3</p><p>El diagrama ilustra el sistema de la cama #3. Se muestra una cama hospitalaria con un mecanismo de barras. Las etiquetas indican: perilla (control), barras (mecanismo), corriente eléctrica (fuente de energía), resistencia variable (componente de control) y batería níquel (almacenamiento de energía). El motor eléctrico está conectado al mecanismo de barras.</p></div> <p><i>Ilustración 12. Esquema alternativa 3.</i></p>
---	---	---	---

5.0 Evaluación y selección de alternativas

Después de realizar un análisis de las métricas utilizando una matriz 2x2 (ubicada en los anexos), se concluye que los dos criterios más críticos en el diseño son la altura ajustable y la ergonomía, con un valor del 11.95% y 11.50% respectivamente. Esto significa que se debe enfocar más en estos aspectos durante el diseño detallado del producto.

Por otro lado, al realizar el análisis de la matriz QFD (ver anexos), se observa que, aunque las alternativas comerciales presentan mejores prestaciones, la alternativa planteada se destaca por su costo accesible para diversas entidades prestadoras de salud. Esto la convierte en una alternativa viable en términos de relación costo-beneficio en el mercado laboral.

En cuanto al análisis por criterios ponderados (AHP), se consideraron los siguientes criterios para la selección de la cama: batería autónoma (40%), amigable con el medio ambiente (30%), capacidad de manipulación remota (20%) y bajo costo de la batería (10%). Después de realizar las comparaciones entre las camas y los criterios (ver anexo), se seleccionó la cama número 2 como la más adecuada.

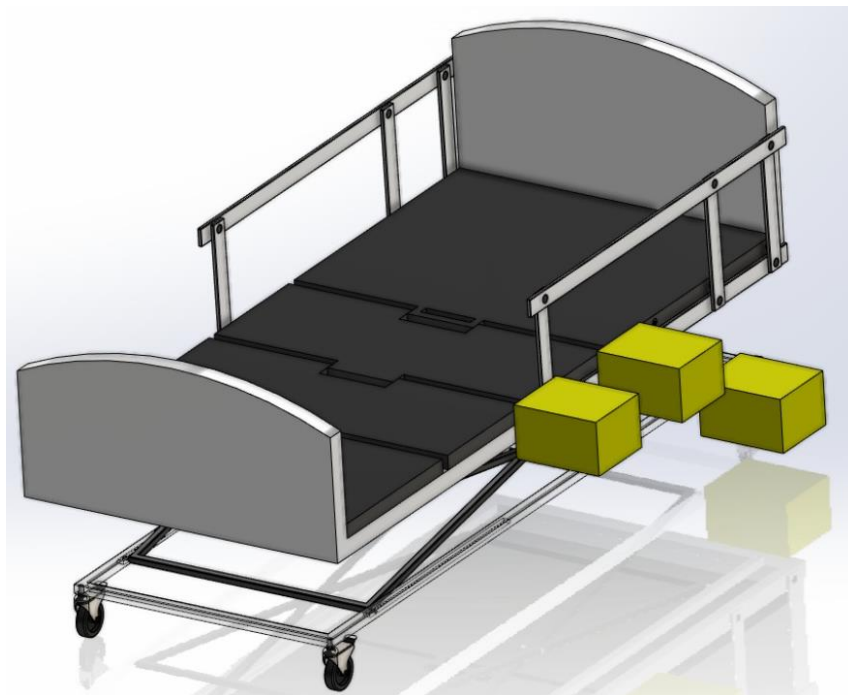


Ilustración 13. Cama hospitalaria con altura al mínimo. Componentes totalmente retraídos.

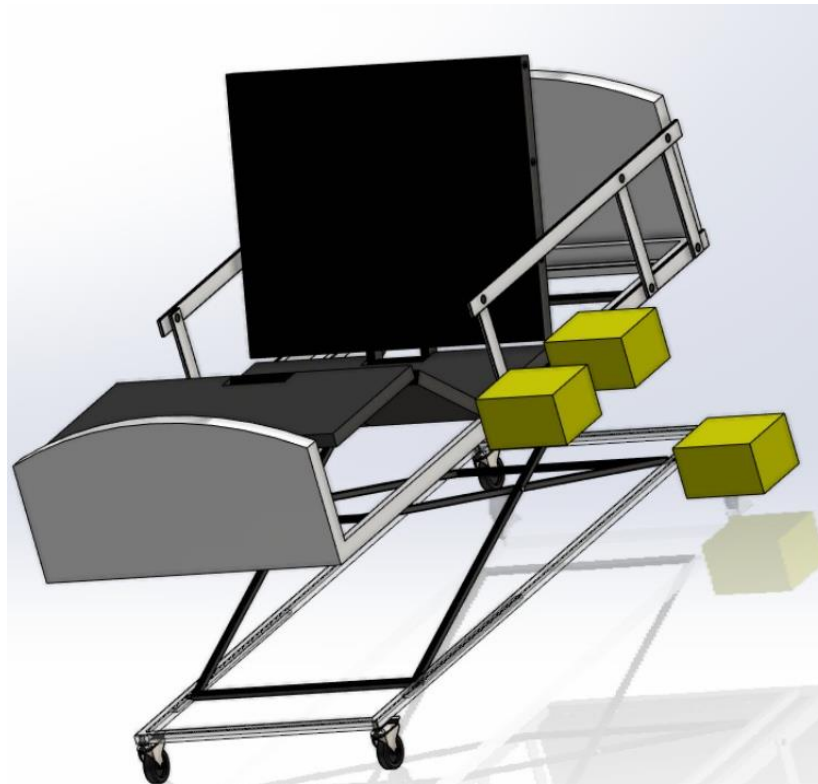


Ilustración 14. Cama hospitalaria con altura al máximo. Componentes totalmente desplegados.

6.0 Análisis cinemático y cinético

Para poder determinar las velocidades y aceleraciones de operación se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El tiempo requerido para cada operación es de 30 segundos, lo que indica la duración promedio de realizar cada tarea específica.
2. Se lleva a cabo un análisis utilizando un perfil trapezoidal, como se ilustra en la figura 15. Este tipo de perfil permite examinar cómo varían las variables y los tiempos en el proceso de operación.
3. Se reconoce que entre las operaciones puede haber un tiempo considerablemente largo, lo que se define como tiempo muerto. Se estima que este tiempo muerto representa el 45% del tiempo neto de operación. Esta información es relevante para comprender el tiempo total requerido para completar todas las operaciones.
4. Se realiza una verificación comparativa entre los resultados del valor marginal y el ideal.

Estas consideraciones y análisis proporcionan una comprensión más precisa y detallada del tiempo requerido para cada operación, permitiendo identificar áreas de mejora y optimización en el proceso.

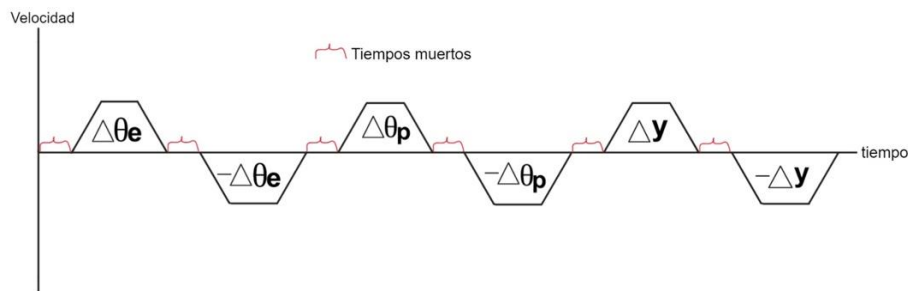


Ilustración 15. Perfil cinemático de la cama de hospital

Luego de realizar los cálculos utilizando una hoja de cálculo (ver anexo adjunto), se obtuvieron los valores de velocidad y aceleración correspondientes al caso real y al caso ideal. Estos valores se presentan en la tabla 5, permitiendo comparar y analizar las diferencias entre ambos casos.

Tabla 5. Velocidades y aceleraciones de la cama

Valor	Marginal	Ideal	Unidades
Velocidad Máxima Espaldar (ω)	0,22	0,25	rad/s
Aceleración Máxima Espaldar (α)	0,08	0,09	rad/s²
Velocidad Máxima Piernas (ω)	0,10	0,13	rad/s
Aceleración Máxima Piernas (α)	0,03	0,05	rad/s²
Velocidad Máxima Vertical (V)	0,07	0,11	m/s
Aceleración Máxima Vertical (a)	0,03	0,04	m/s²

Para el análisis cinético de la cama, se propone utilizar acero galvanizado debido a sus numerosos beneficios. El acero galvanizado es conocido por su alta estabilidad y resistencia, lo que lo convierte en un material ideal para aplicaciones de este tipo. Además, el acero galvanizado es ampliamente disponible y tiene un costo más bajo en comparación con otros materiales, lo que lo hace económicamente viable. Otro aspecto importante es que el acero galvanizado es amigable con el medio ambiente. El proceso de galvanizado involucra la aplicación de una capa de zinc sobre el acero, lo que proporciona una protección adicional contra la corrosión y extiende la vida útil del material. Esto significa que se requiere menos mantenimiento y reemplazo, lo que reduce el impacto ambiental a largo plazo [12].

Una vez seleccionado el material, se utiliza el software de diseño SolidWorks para realizar los cálculos de masa de cada uno de los componentes de la cama. Mediante este proceso, se determina que la masa total de la cama es de 670 kg, lo cual es un dato relevante para el análisis cinético del sistema de elevación.

6.1 Análisis cinético del espaldar.

Para determinar la potencia necesaria para lograr la elevación angular requerida del espaldar, se realiza un diagrama de fuerzas, como se muestra en la figura 16. A partir de este diagrama,

se determina el momento que debe ser aplicado y la potencia que se debe suministrar. En este cálculo, se considera que el 50% del peso de una persona se distribuye uniformemente en todo el torso. Esta suposición se realiza para simplificar el análisis y hacerlo más práctico.

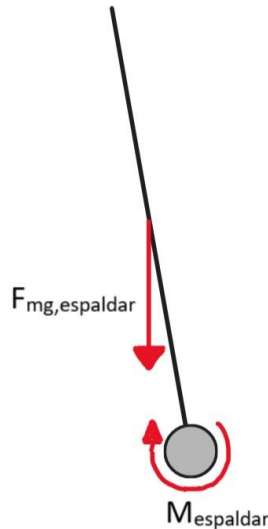


Ilustración 16. Análisis de fuerza del espaldar

Después de realizar los cálculos utilizando Excel, se determinó que se requiere un momento de 268.73 Nm para llevar el espaldar a la posición deseada. Para suministrar este momento, se debe proporcionar una potencia de 21.5 W. Estos valores son el resultado del análisis y son fundamentales para el diseño y dimensionamiento del sistema de elevación del espaldar.

6.2 Análisis cinético de las piernas.

En el cálculo de la estimación de la potencia para mover las piernas se desprecia el efecto de los pies ya que representan un porcentaje muy mínimo de la masa del cuerpo humano, a su vez se toma el otro 50% de la masa del cuerpo humano para realizar el diagrama de fuerzas ilustrado en la figura 17.

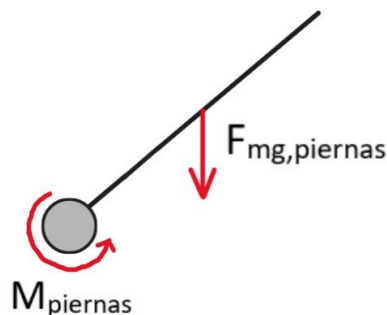


Ilustración 17. Análisis de fuerza de las piernas

Tras realizar los cálculos en Excel, se llegó a la conclusión de que se necesita aplicar un momento de 54.13 N*m para lograr el movimiento deseado. Para suministrar este momento, se requiere una potencia de 5.41 W. Estos resultados son fundamentales para el diseño y

dimensionamiento del sistema correspondiente, asegurando así un funcionamiento adecuado del espaldar de la cama de hospital.

6.3 Análisis cinético del sistema de elevación.

Para determinar la fuerza y la potencia necesarias para elevar la cama, se lleva a cabo un análisis de fuerzas mediante un diagrama, como se ilustra en la figura 18. Este diagrama permite identificar las diferentes fuerzas involucradas y calcular los valores correspondientes.

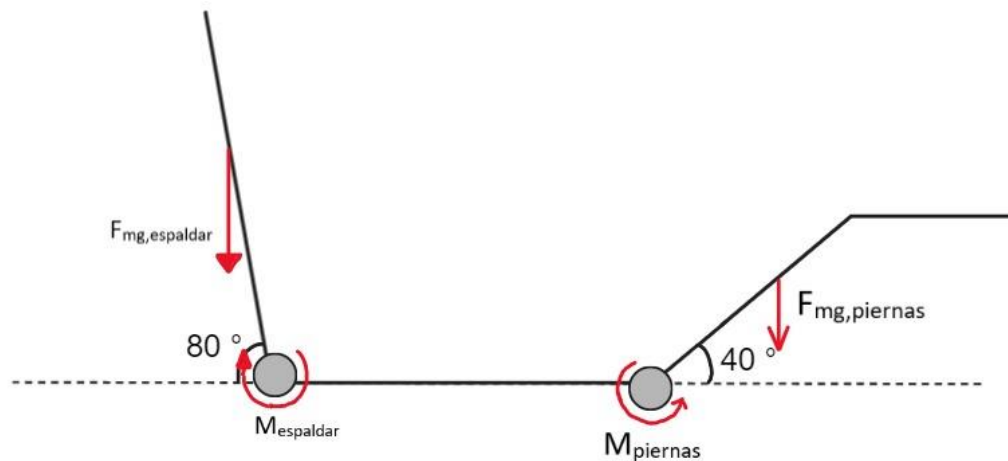


Ilustración 18. Análisis de fuerzas de la cama

Al realizar el análisis de fuerzas, se obtiene la fuerza requerida para elevar la cama, que resulta en un valor de 1420 Newtons. Además, se calcula la potencia necesaria para aplicar dicha fuerza, la cual se estima en 99 W.

7.0 Síntesis de accionamiento

En el diseño de la alternativa seleccionada, se realiza la elección de 3 motores eléctricos que sean capaces de suministrar la potencia requerida para cada tipo de movimiento. Para seleccionar los motores adecuados, se lleva a cabo una investigación en catálogos y se comparan las especificaciones técnicas de diferentes modelos.

Tras este proceso de selección, se eligen los siguientes motores:

- **Motor 16 mm (3-24V):** Este motor ha sido seleccionado por su capacidad para suministrar la potencia de 500 W, suficiente para producir el movimiento de elevación de la cama. Sus especificaciones cumplen con los requisitos establecidos y se considera adecuado para esta función [13].
- **Motor 16 mm (3-24V):** Este motor ha sido elegido para proporcionar la potencia requerida en el movimiento de reclinación del espaldar. Se ha tenido en cuenta su rendimiento, tamaño y capacidad de carga, y se considera una opción apropiada para esta tarea [13].
- **Motor 57S:** Se ha seleccionado este motor para el movimiento de las piernas reclinables. Su potencia de 8 W y características técnicas se ajustan a los requisitos establecidos, garantizando un funcionamiento eficiente y seguro [14].

7.1 Transmisiones.

En la alternativa seleccionada, se ha optado por utilizar engranajes rectos como mecanismo de transmisión para los motores. A continuación, se presenta la tabla 6 que resume los resultados obtenidos al dimensionar los engranajes para cada tipo de motor, mostrando la relación de transmisión global, el número de etapas y la eficiencia global de la transmisión:

Tabla 6. Síntesis de transmisiones

Movimiento	i	# etapas	Eficiencia
Espaldar	150	4	0.9606
Pierna	60	3	0.9703
Elevación	200	4	0.9606

En el caso del motor para el espaldar, se ha determinado una relación de transmisión global de 150, que se logra mediante la utilización de dos etapas de engranajes rectos. La eficiencia global de la transmisión se estima en un 96%.

Para el motor de la elevación de piernas, se ha calculado una relación de transmisión global de 60, también utilizando dos etapas de engranajes rectos. La eficiencia global de la transmisión se estima en un 97%.

En cuanto al motor de la elevación de la cama, se ha dimensionado una relación de transmisión global de 200, utilizando tres etapas de engranajes rectos. La eficiencia global de la transmisión se estima en un 906%.

Estos resultados proporcionan información relevante para el diseño detallado del mecanismo de transmisión mediante engranajes rectos, permitiendo asegurar un adecuado funcionamiento y eficiencia en la transmisión de potencia desde los motores a los componentes correspondientes de la cama hospitalaria.

7.2 Síntesis de cojinete y lubricante.

Para la selección del cojinete y lubricante en el sistema de elevación de la cama, se ha utilizado el criterio presentado en las figuras 19 y 20, donde se han asignado los colores negro, naranja y verde para representar la elevación vertical, la inclinación de las piernas y el espaldar, respectivamente.

Tras analizar estos criterios, se ha determinado que el sistema de elevación de piernas requiere el uso de rodamientos. En este caso, se propone el uso de un rodamiento de bolas debido a que debe soportar principalmente cargas axiales. Los rodamientos de bolas son adecuados para este tipo de aplicaciones, ya que están diseñados para soportar cargas axiales y radiales.

En cuanto al lubricante, se ha llegado a la conclusión de que se recomienda el uso de lubricantes secos. Estos lubricantes son adecuados para aplicaciones de alta velocidad y carga, ya que no requieren de una lubricación continua y no generan fricción excesiva. Esto ayuda a reducir el desgaste y prolongar la vida útil del sistema de elevación de la cama.

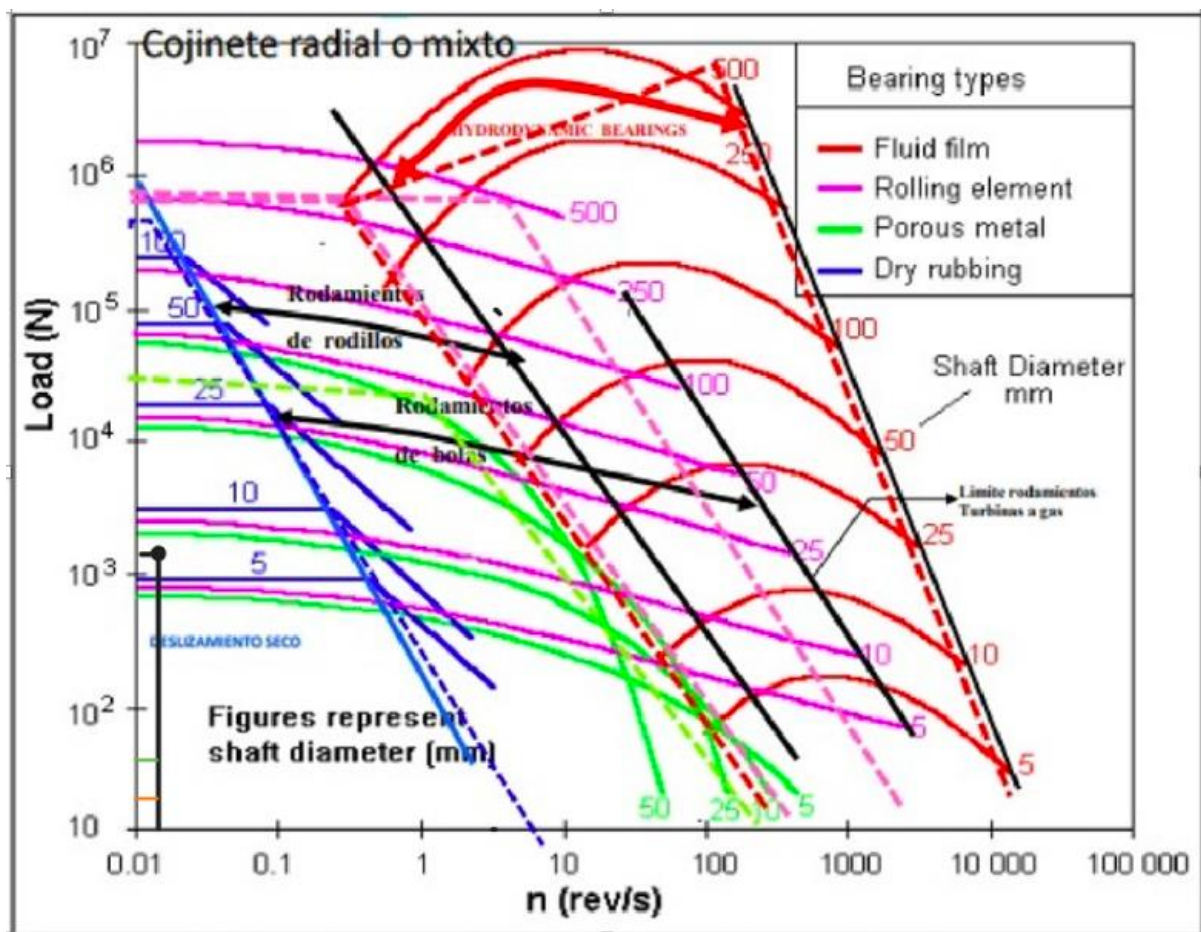


Ilustración 19. Gráfica de selección de cojinete

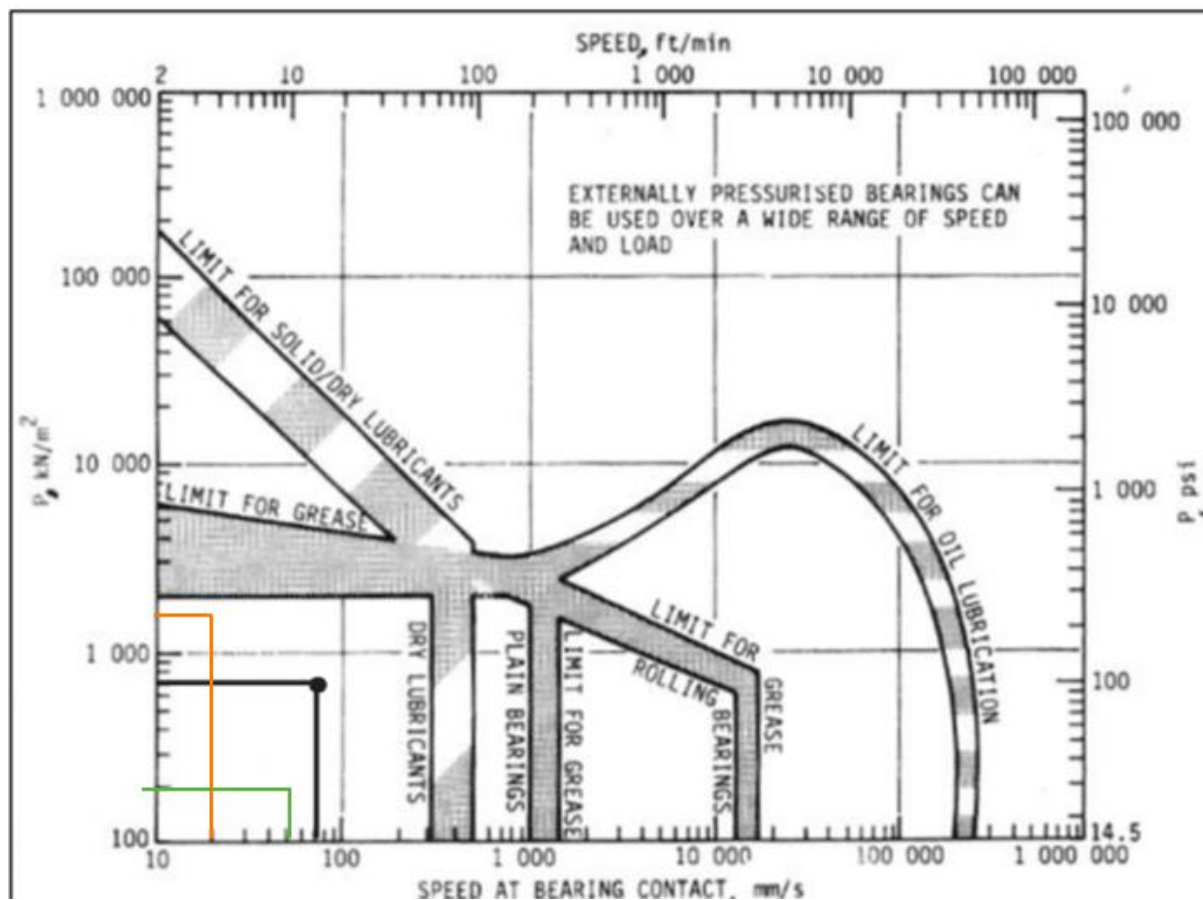


Ilustración 20. Gráfica de lubricantes

Para los casos de la inclinación de las piernas y el espaldar de la cama, se recomienda el uso de un cojinete de frotamiento en seco en combinación con un lubricante seco. Esta selección se basa en el análisis de las cargas y velocidades involucradas en estos mecanismos, las cuales no son lo suficientemente críticas como para generar un desgaste significativo en el cojinete.

El cojinete de frotamiento en seco es una opción adecuada para estas aplicaciones, ya que no requiere de una lubricación continua y ofrece un funcionamiento confiable y duradero. Este tipo de cojinete es capaz de soportar las cargas y movimientos asociados con la inclinación de las piernas y el espaldar de la cama sin experimentar un desgaste excesivo.

El uso de un lubricante seco complementa la operación del cojinete, proporcionando una capa de lubricación que reduce la fricción y el desgaste. Este tipo de lubricante es especialmente efectivo en aplicaciones con cargas y velocidades moderadas, donde no se requiere una lubricación continua y se busca minimizar la posibilidad de fallas por desgaste.

8.0 Síntesis de uniones

Para la selección de las uniones, se aplicó un método iterativo (**ver anexo “Cálculo de pernos”**) con el objetivo de garantizar la efectividad y seguridad del sistema. En primer lugar, se realizó una preselección del largo del tornillo considerando el espesor de las partes, el cual es de 20 mm cada una. Por lo tanto, el largo mínimo del perno debía ser de 40 mm. Además, se sumó el largo de la tuerca de apriete y las arandelas, que se eligen comúnmente

con una longitud estándar de 15 mm. De esta manera, se obtuvo una longitud nominal de 55 mm.

A continuación, se investigaron estándares relacionados con los largos de pernos y se seleccionó el valor más cercano hacia arriba, que en este caso fue de 60 mm. Esta elección se realizó con el objetivo de asegurar que el tornillo tuviera la longitud adecuada para la unión requerida.

Posteriormente, se determinaron las constantes de rigidez tanto del perno como de las partes involucradas. Esto permitió calcular la fracción de carga para los pernos y para las partes, con el fin de realizar una comparación entre la precarga y la carga que soportarían las partes. Es fundamental que la carga de las partes sea mayor que la precarga para garantizar que el perno no falle en condiciones de funcionamiento.



Ilustración 21. Perno de barra de elevación

9.0 Análisis estructural

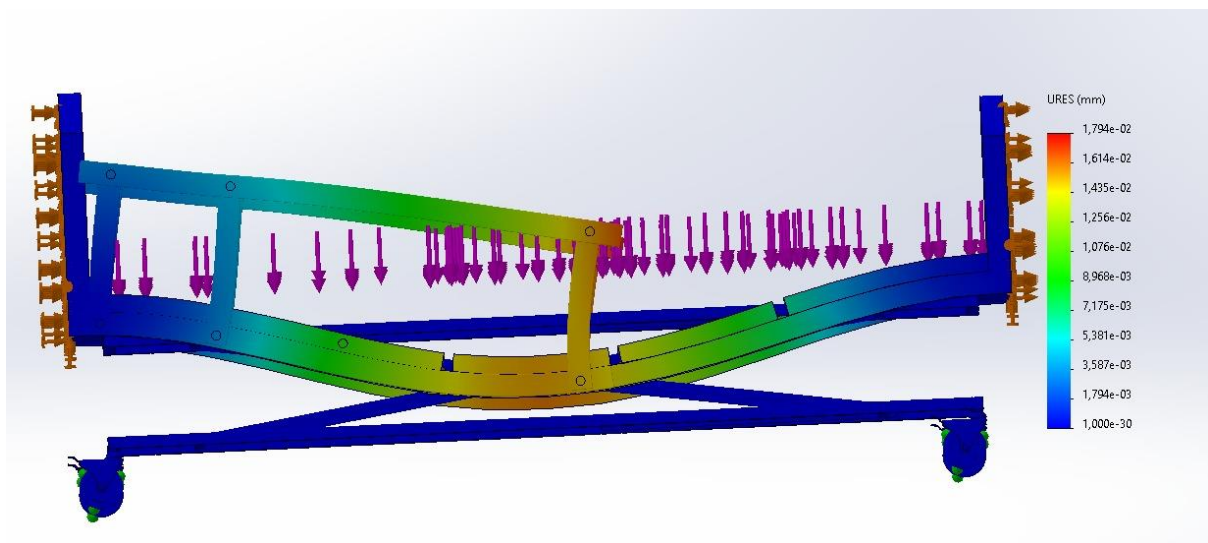


Ilustración 22. Prueba de falla (vista 1)

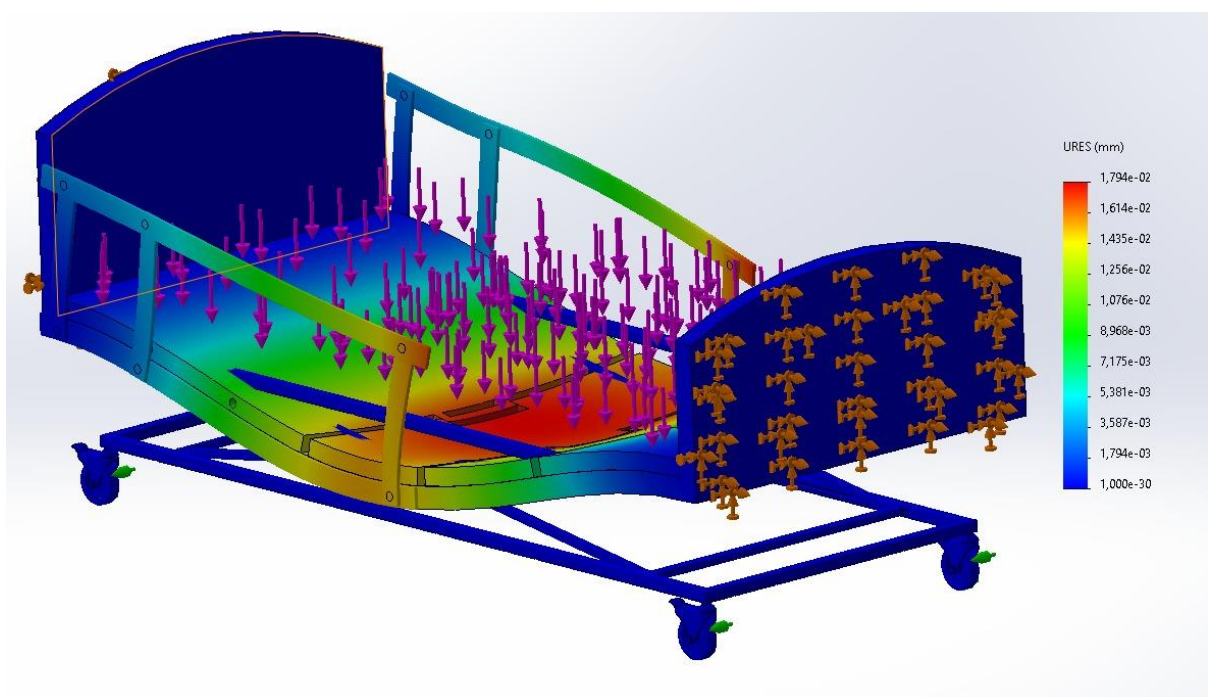


Ilustración 23. Prueba de falla (vista 2)

Las ilustraciones 22 y 23 muestran la deformación de la cama ante una fuerza distribuida de 1400N. A simple vista parece grande, pero es debido a que el software no hace la deformación a escala. Viendo la escala de colores se aprecia que la máxima deformación vendría siendo de apenas 0,01794mm.

10.0 Planos de detalle del sistema

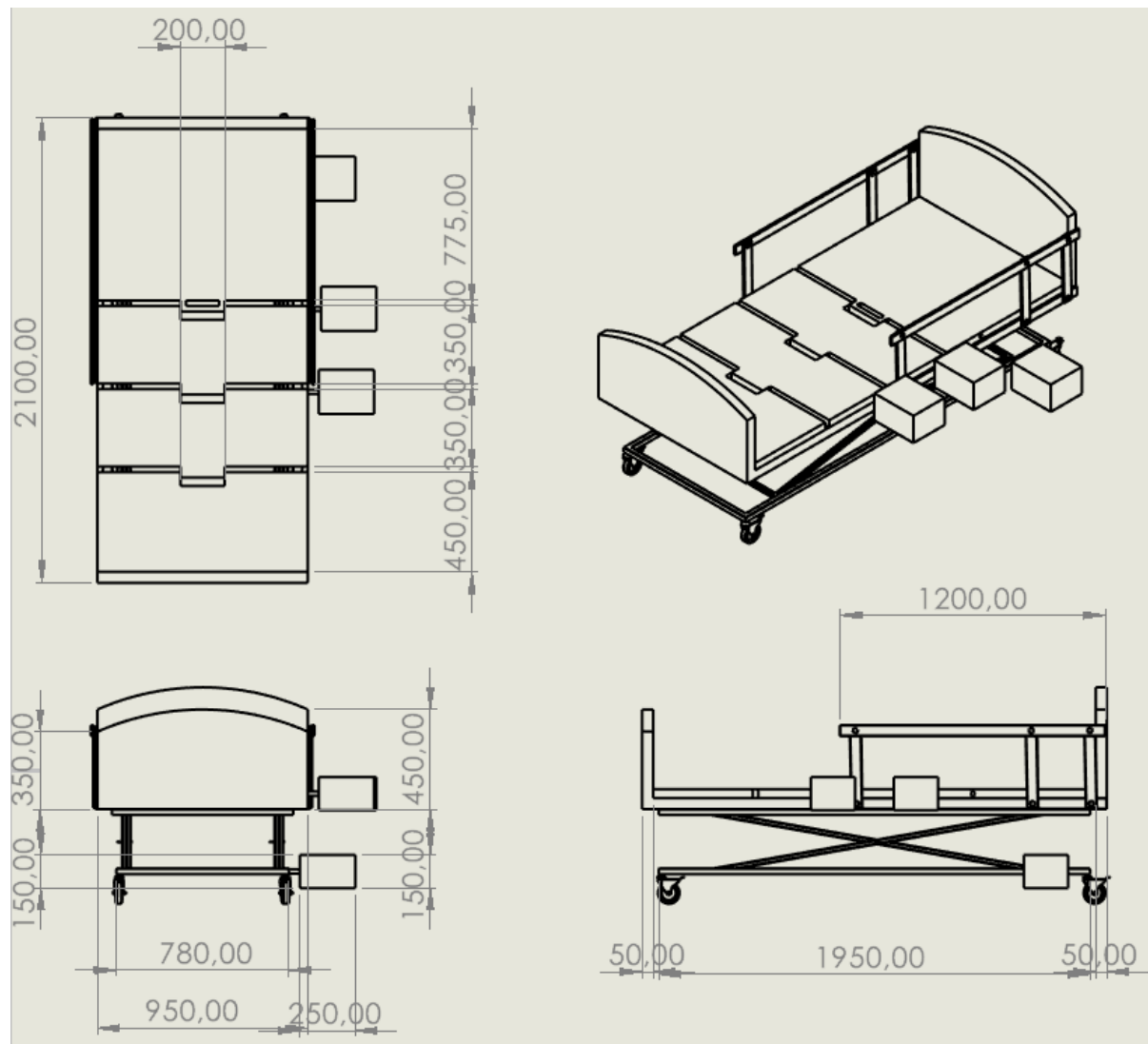


Ilustración 24. Planos del sistema (medidas en mm)

11.0 Presupuesto

Tabla 7: Presupuesto por subsistema y total

Subsistema 1: parte inferior				
Tipo de rubro	Item	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total
Compras	rueda	4	111705,22	446820,88
	pernos	2	887,61	1775,22
	accionamiento motor 16 mm (3-24V)	1	2099188,19	2099188,19
Fabricación	barras de elevación	2	57694,39	115388,78
	base de la cama	2	105207,94	210415,88
Subtotal				2873588,95
Imprevistos (5%)				143679,4475
Gastos administrativos (15%)				431038,3425
Utilidad (30%)				862076,685

Total				4310383,425
Subsistema 2: parte superior				
Tipo de rubro	Item	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total
compras	pernos	12	887,61	10651,32
	accionamiento motor 16 mm (3-24V)	1	2099188,19	2099188,19
	accionamiento motor 57s	1	133140,9	133140,9
Fabricación	Estructura de acero	—	4327079,25	4327079,25
	Estructura de PEAD	2	7100,85	14201,7
Subtotal				6584261,36
Imprevistos (5%)				329213,068
Gastos administrativos (15%)				987639,204
Utilidad (30%)				1975278,408
Total				9876392,04
Total todos los subsistemas				14186775,47

12.0 Conclusiones y recomendaciones

Se puede concluir que la revisión técnica respalda la viabilidad de la alternativa desde un punto de vista estructural, ya que la simulación demostró deformaciones mínimas. Sin embargo, en términos de rentabilidad, esta alternativa resulta costosa debido al material seleccionado, la cantidad de motores utilizados y el tipo de batería. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis más exhaustivo del sistema de transmisión con el fin de reducir la cantidad de motores y disminuir el costo.

Finalmente, la alternativa satisface las necesidades del paciente, ya que permite la acomodación deseada y es ergonómica. Además, su implementación de ruedas facilita el fácil desplazamiento de un lugar a otro. No obstante, se sugiere considerar datos estadísticos relacionados con el tipo de paciente que suele ser atendido, con el objetivo de mejorar aún más el diseño y adaptarlo a las necesidades específicas de los pacientes.

13.0 Referencias

- [1] “Enfermería Global”, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=365834734022>
- [2] “4.Catalogo-Mespa-MCare-con-Ref.-de-accesorios”.
- [3] Maciej Serda *et al.*, “Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza,” *Uniwersytet śląski*, vol. 7, no. 1, pp. 343–354, 2013, doi: 10.2/JQUERY.MIN.JS.
- [4] Qi C., “CN103784277 Hospital bed with adjustable backrest,” 103784277, May 14, 2014 Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN97656701&_cid=P20-LG1F2Y-95724-1

- [5] CharlesJ. et al. Filipi, "WO2008052220 CAMA DE HOSPITAL AMBULATORIO," Oct. 29, 2008 Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008052220>
- [6] K. He, "Hospital bed and stretcher combined hospital bed used for inpatient ward," Mar. 23, 2021 Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN321334166&_cid=P20-LG2KLO-26533-1
- [7] "Guía completa de la norma ISO 13485 - Productos sanitarios | NQA," *Blog. ORGANISMO DE CERTIFICACIÓN GLOBAL*, Jun. 08, 2022. Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: https://www.nqa.com/es-co/resources/blog/february-2017/a-guide-to-iso-13485%C2%BFQu%C3%A9_es_la_ISO_13485
- [8] "IEC 60601-2-52:2009+AMD1:2015 CSV | IEC Webstore," Mar. 18, 2015. <https://webstore.iec.ch/publication/21963> (accessed May 28, 2023).
- [9] "Pilas alcalinas Vs. Pilas de litio." <https://www.wikiversus.com/electronica-y-gadgets/pilas-alcalinas-vs-litio/> (accessed May 28, 2023).
- [10] "¿En qué se diferencian una batería de níquel y una de litio?" <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/en-que-se-diferencian-una-bateria-de-niquel-y-una-de-litio-club> (accessed May 28, 2023).
- [11] "Baterías Ni-Cd." <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Baterias-Ni-Cd.html> (accessed May 28, 2023).
- [12] "Acero galvanizado en caliente." https://yieh.com/es/Product/coated-steel/gi-2?gad=1&gclid=Cj0KCQjwmtGjBhDhARIsAEqfDEcxCljXq6Y6KixPuGSLJXAMPbu7hA2eprBRqhr4_ILi12kzfWkSw80aAiF6EALw_wcB (accessed May 28, 2023).
- [13] "16mm Planetary Gear Motor (3~24V) - Twirl Motor." <https://www.twirlmotor.com/16mm-micro-planetary-gear-motor/> (accessed May 29, 2023).
- [14] "Motores paso a paso EMMS-ST." [Online]. Available: www.sitasa.com

Anexos:

- [Audios encuesta Proyecto](#)
- [Calculos del proyecto](#)
- [Archivos de solidworks](#)

