

Diseño y prueba de camilla médica articulada para cuidados intensivos

David Ojeda, Diego Ortiz, Amilcar Angamarca
Departamento de Ingeniería Mecatrónica
Universidad Técnica del Norte
Ibarra, Ecuador
(daojeda, dlortiz, afangamarcab)@utn.edu.ec

Resumen--- El presente trabajo es el continuo desarrollo de una investigación de camilla médica articulada que se realiza en la Universidad Técnica del Norte, la cual se desarrolla debido a la necesidad que tienen algunos pacientes en estado crítico para hacer su rehabilitación adecuada, que por una u otra razón han perdido la motricidad total o parcial de su cuerpo y se ven obligados a pasar largos periodos de tiempo en una sola posición y requieren de equipos especializados para su pronta recuperación o para tener un mejor estilo de vida ya que la adquisición de una camilla médica tiene un valor considerable. En el proceso del mejoramiento de ésta investigación se encuentra el diseño mecánico y se proponen algunas alternativas para ser analizadas y de acuerdo a las diferentes necesidades del paciente se selecciona la mejor opción para su continuo desarrollo. Para realizar un trabajo confiable se realiza un análisis de esfuerzos de las cargas que soporta la estructura de la camilla médica articulada, para lo cual se hace uso de un software CAD llamado SolidWorks. También se seleccionan los actuadores adecuados para realizar los diferentes movimientos que la camilla médica puede ejecutar, se realiza el diseño del sistema de control y se implementa el sistema completo. La camilla médica puede ejecutar los siguientes movimientos específicos: fowler, trendelemburg, flexión rodillas, bipedestación, regulación de altura de la camilla y movilización del paciente a diferentes ambientes de acuerdo a sus necesidades.

Palabras clave--- rehabilitación; CAD; SolidWorks; fowler; trendelemburg; bipedestación.

I. INTRODUCCIÓN

La pérdida de la función muscular se presenta cuando un músculo no trabaja ni se mueve normalmente y esto puede ser causado por una enfermedad del músculo en sí (miopatía), una enfermedad del área en la que se encuentran el músculo y el nervio (unión neuromuscular), una enfermedad o un accidente que afecte al sistema nervioso [1], [2]. Cuando una persona está postrada en una cama, el peso del cuerpo ejerce presión sobre la piel que se encuentra entre los huesos y el colchón. Esto puede provocar la obstrucción de la circulación sanguínea hacia el tejido cutáneo, la falta de aporte de oxígeno hacia la piel [3], [4]. Debido a esto se presentan problemas como las úlceras por presión o escaras y roturas en la piel [5]. En la Universidad Técnica del Norte se construye un

primer prototipo de camilla para movilización y cambio de posición [6], que a pesar de que dicho dispositivo se encuentra funcional de acuerdo a su diseño y requerimientos, tiene algunos aspectos que pueden optimizarse.

El diseño implementado en este dispositivo tiene medidas que son bastante robustas, lo que dificulta la movilización en caso de ser necesario. Por otro lado se considera que el sistema de control que tiene la camilla que puede ser mejorado. En general, la camilla puede ser mejorada para ampliar su alcance y brindar una mejor atención a los pacientes que necesitan este tipo de terapias. Por otra parte debido al precio de este tipo de camillas en el país y en el extranjero, los ecuatorianos que han perdido la movilidad total o parcial de su cuerpo y que necesitan este tipo de terapias no pueden acceder fácilmente a tener una de estas, ya que su precio es elevado para la economía de los ecuatorianos. Para solucionar los problemas mencionados, se propone realizar un nuevo prototipo de camilla para movilización y cambio de posición de pacientes con materiales menos robustos y de fácil acceso en el medio para así obtener una camilla de más bajo costo en comparación con las camillas ya existentes. Sus dimensiones deben estar acorde a las medidas antropométricas del usuario y también debe brindar seguridad e higiene en el ambiente que se encuentre el paciente.

Los problemas que se presentan cuando una persona tiene limitada total o parcialmente la posibilidad de moverse por sí solos son las escaras o también llamadas úlceras por presión ya que está obligada a permanecer acostada o a estar en una sola posición durante largos periodos de tiempo [7]. Para evitar el problema de las escaras y lograr una pronta recuperación en pacientes encamados es necesario contar con equipos médicos adecuados y para esto la Universidad Técnica del Norte cuenta con una camilla para movilización y cambio de posición para pacientes que requieran este tipo de terapias.

El dispositivo existente requiere de un rediseño para ampliar su alcance y de ésta manera mejorar su funcionalidad y ampliar su impacto ya que según el punto de vista profesional de los docentes de la carrera de terapia física médica de la Universidad Técnica del Norte, es una necesidad de los terapeutas contar con una camilla articulada para los pacientes, la cual sea diseñada y construida bajo ciertas normas estandarizadas ya que de esta manera ayudaría a mejorar las condiciones en la atención médica de pacientes que lo requieran.

El uso de este tipo de camillas, favorece al paciente, ya que su recuperación será en un dispositivo garantizado logrando así movilidad temprana, esto también contribuye a mejorar su calidad de vida. Con el diseño y la construcción de este tipo de camillas se generará tecnología, por ende se aprovechará la materia prima existente en el medio, lo cual provocaría la reducción de los costos de fabricación y se tendrá mayor accesibilidad al producto.

Tomando en consideración el primer prototipo [6], se realizará un nuevo diseño que supere las deficiencias encontradas en el anterior, el cual permita ajustarse a lo que el paciente y el encargado de salud lo requieran. Se seleccionarán los materiales adecuados los cuales garanticen un cómodo desplazamiento y movilidad de la camilla médica por parte del personal de salud.

La camilla médica contará con actuadores que se seleccionarán de acuerdo al estudio que será desarrollado para realizar los diferentes movimientos de la camilla, así como también la bipedestación.

El equipo médico se regirá a ciertas normas las cuales garantizan los requisitos particulares para la seguridad básica y funcionamiento esencial de las camas de hospital.

El equipo médico será estandarizado según las características antropométricas de la población latinoamericana que según una investigación de la Universidad de Guadalajara señala que la estatura máxima equivalente entre personas de 18 a 30 años es de 1,82 m de estatura, y una masa corporal máxima de 87 kg aproximadamente [8].

Con el nuevo diseño, también se propone un sistema de sujeción adecuado para cuando el paciente se encuentre en posición bípeda no pierda contacto con la camilla y permanecer el tiempo que sea necesario.

Los pacientes podrán realizar los siguientes movimientos en la camilla: decúbito supino o dorsal, posición fowler, posición de trendelenburg, flexión de rodillas, regulación de altura, bipedestación y movilización del paciente a diferentes ambientes de superficie plana según sus necesidades. La camilla médica también tendrá un dispositivo de control electrónico desde donde el empleado de salud podrá controlar la posición deseada de la camilla articulada.

II. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo se empieza por investigar los tipos de camillas médicas que existen, de acuerdo a las necesidades del paciente, luego se selecciona la mejor solución teniendo en cuenta los parámetros de diseño los cuales deben mejorar el alcance del primer prototipo y así facilitar el trabajo a los profesionales encargados de la salud del paciente. Y se procede con la creación del modelo CAD y selección del material. Luego se hace el análisis CAE del modelo teniendo en cuenta todos los parámetros de diseño. También se diseña el sistema de control. Una vez ejecutadas todas las simulaciones necesarias se procede a la construcción y posteriormente a la realización de las pruebas para verificar el correcto funcionamiento del equipo médico.

A. Tipos de camillas médicas

Camillas bipedestadoras

En la actualidad existen camillas que son accionadas de distinta forma, las que son accionadas mediante manivela (ver Fig. 2.1) y las camillas eléctricas que son accionadas mediante actuadores (ver Fig. 2.2) utilizadas para la bipedestación y movilización temprana de pacientes; estos equipos son utilizados para mejorar la calidad de vida del paciente y favorecer el trabajo de los terapeutas, pueden variar en forma, tamaño, tipo de accionamiento y a su vez presentar diferentes funciones [6].



Fig. 2.1 Camilla bipedestadora manual



Fig. 2.2 Camilla bipedestadora eléctrica

Camillas articuladas

Hay camas hospitalarias articuladas que se manipulan mediante una manivela (ver Fig. 2.3) y también hay camillas eléctricas que son accionadas por actuadores (ver Fig. 2.4) para hacer el cambio de posición y movilización del paciente, además debe congregarse una serie de características que posibiliten, por un lado, que el paciente se encuentre lo más cómodo posible, y por otro, que el personal auxiliar y sanitario pueda manejarse con facilidad [9]



Fig. 2.3 Camilla articulada con manivela



Fig. 2.4 Camilla articulada eléctrica

Con la finalidad de implementar un nuevo diseño de prototipo de camilla médica, se realiza una investigación de los diferentes trabajos desarrollados, los cuales sirven como base para el desarrollo del nuevo diseño de la camilla médica.

En la Universidad Técnica del Norte, se construye un primer prototipo de camilla médica, ésta permite al paciente de escasa movilidad de su cuerpo movilizarse y cambiar de posición cuando sea necesario para evitar las escaras en distintas partes de apoyo de su cuerpo que están en contacto con el colchón, en éste prototipo desarrollado por Carvajal [6], se ha implementado un diseño mecánico bastante robusto, para realizar la bipedestación un sistema de sujeción como los cinturones de seguridad que se utilizan en los vehículos, el sistema de elevación para la regulación de la altura de la camilla es de tipo columna y un sistema de control para realizar los diferentes movimientos, ver figura (2.1).

A partir de este trabajo se continuará la investigación para el desarrollo de un nuevo prototipo, este nuevo diseño se realizará debido a que éste presenta algunos parámetros de diseño mecánico y de control que pueden ser optimizados para brindar una mejor atención a los pacientes que lo requieran y así logren tener un mejor estilo de vida.



Figura 2.5 Camilla para movilización y bipedestación de pacientes

En el trabajo presentado por Cevallos [9], se realiza un rediseño mecánico y de control de una cama de cuidados intensivos, la cual puede realizar diferentes movimientos para dar movilidad al paciente, como se muestra en la figura (2.6), en esta cama hace diferentes movimientos para el cambio de posición del paciente, su sistema de elevación es de tipo barras en paralelo y el único cambio en comparación con la camilla anterior es que en esta camilla no se implementa el movimiento para hacer la bipedestación al paciente.



Figura 2.6 Cama de cuidados intensivos

Otro tipo de camilla es la que se muestra en la figura 2.7, que se caracteriza por que el bastidor inferior (1) se encuentra apoyado sobre ruedas de transporte en el que van montados dos motores eléctricos lineales (2) cuyos husillos accionan independientemente sendas articulaciones compuestas por los grupos de palancas y bielas (A) y (B) mediante las que se logra la elevación y descenso de otro bastidor superior (3), esta camilla realiza múltiples movimientos a excepción de la bipedestación [10]

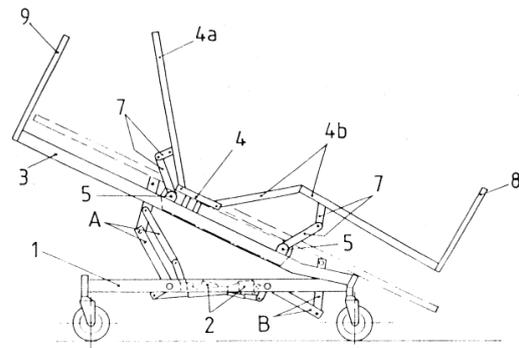


Fig. 2.7 Camilla articulada para clínicas

La siguiente es una camilla multifunción, la cual se diseña para brindar descanso y soporte de aseo para el paciente, cuenta con dispositivos acoplados entre si mecánicamente, mediante los cuales, la camilla puede ser transformada en silla y también puede adaptarse sobre un lecho horizontal [11]. En la fig. 2.8 se muestra la vista frontal de la camilla, la cual se convierte en silla, cuando el pistón (27) desciende según (C) y todos los movimientos que realiza se realizan mediante un dispositivo de control (25).

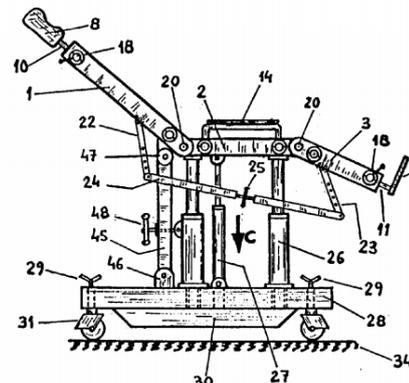


Fig. 2.8 Camilla multifunción articulada transformable

La fig. 2.9 es modelo que se refiere a una nueva camilla destinada a tratamientos corporales diversos, especialmente de belleza, estética y corrección, cuya camilla ofrece varias ventajas. Ésta camilla se caracteriza por su gran movilidad, obtenida gracias a unos juegos de articulaciones en todas las partes fundamentales, articulaciones que hace posible un plegado total en el momento del no uso de la aludida camilla [12]

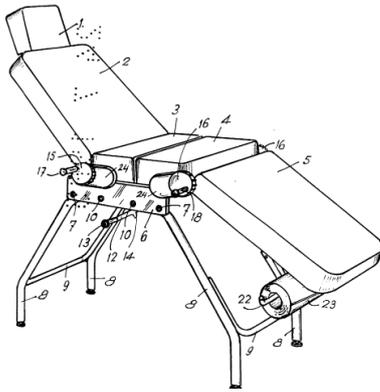


Fig. 2.9 Camilla articulada y plegable para tratamientos corporales

También hay diferentes empresas europeas como WISSNER-BOSSERHOFF, LiKAMED, SOMIMANCHA entre otras que se dedican al diseño y construcción de camas médicas como se muestran en la figura 2.10 y figura 2.11 que igual al anterior trabajo presentado sirven para dar movilidad al paciente, cambiar de posición para evitar las úlceras por presión. La camilla de la fig. 2.11 tiene un sistema de elevación de tipo tijeras que es diferente a los sistemas de elevación de las camillas articuladas anteriores, estas camillas tienen una característica en común, que todos estos diseños no hacen el movimiento de la bipedestación.



Fig. 2.10 Cama médica fabricada por WISSNER-BOSSERHOFF



Fig. 2.11 Cama médica fabricada por LiKAMED

A. Parámetros de diseño

El equipo médico debe cumplir con los principales requerimientos: trasladar al paciente de un ambiente a otro de acuerdo a sus necesidades, soportar un peso máximo de 882N, que disponga de un sistema de sujeción adecuado, debe ser capaz de realizar los movimientos fowler, trendelenburg, flexión rodillas, bipedestación, regulación de altura de la camilla y poder movilizar al paciente con facilidad. Además, poseer un sistema de control de fácil uso.

B. Selección de la mejor solución

Luego de investigar y analizar los diferentes tipos de camillas médicas y tipos de elevación se elige la mejor alternativa como guía para el nuevo diseño teniendo en cuenta que la camilla debe cumplir con los parámetros de diseño además brindar seguridad e higiene a los pacientes y que sea de fácil mantenimiento.

Entonces la mejor alternativa resulta ser como el modelo de la camilla que se muestra en la fig. 2.11, una camilla médica con un sistema de elevación tipo tijeras ya con este diseño hay espacio entre el piso y la base de la camilla lo cual resulta beneficioso para hacer algún tipo de limpieza si es necesario. En cambio en el diseño del primer prototipo que presenta Carvajal no es posible hacer limpieza por debajo de la camilla, se puede observar en la fig. 2.5, este es un diseño de camilla médica con un tipo de elevación tipo columna.

Y para hacer la bipedestación se diseña una pieza soporte (ver Fig. 2.12) la cual permite hacer la bipedestación y así cumplir con los parámetros de diseño.

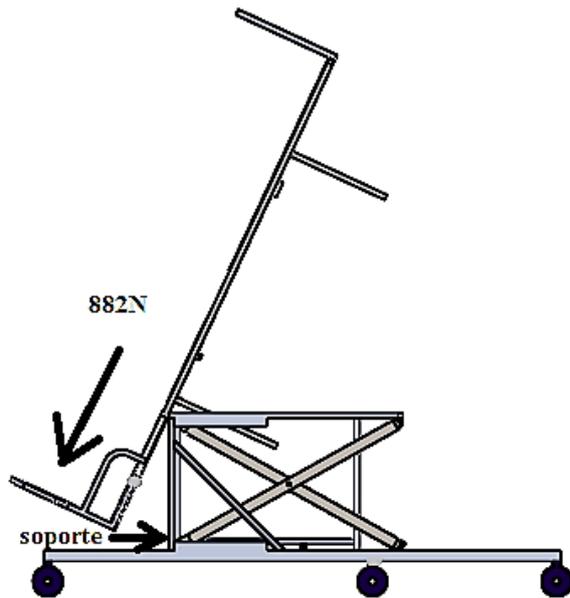


Fig. 2.12 Modelo CAD de camilla médica articulada en bipedestación.

B. Modelo de camilla médica articulada

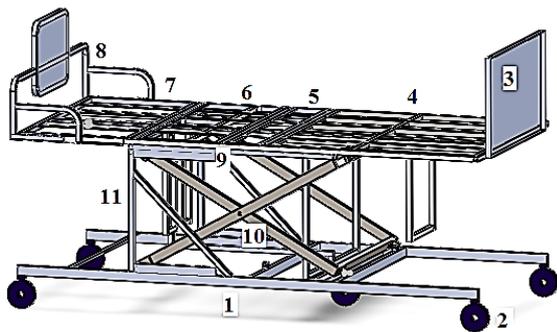


Fig. 2.13 Modelo CAD de camilla médica articulada

Una camilla médica articulada está compuesta de diferentes piezas para realizar su ensamblaje (ver Fig. 2.13). Las principales piezas que conforman este dispositivo médico son: 1. Base, 2. Ruedas, 3. Cabecera, 4. Sección espaldar, 5. Sección fija, 6. Sección fémur, 7. Sección tibia y peroné, 8. Reposapiés, 9. Base deslizante, 10. Tijeras, 11. Soporte bipedestación.

Su montaje no es de mayor dificultad ya que su acoplamiento es mediante colocación de pernos y es de fácil mantenimiento en caso de ser necesario.

C. Selección de materiales

Para la selección de materiales de la estructura mecánica hay que tener en cuenta que este equipo médico va a estar sometido a la carga distribuida del paciente, que según las características antropométricas de la población

latinoamericana una persona de 18 a 30 años tiene una masa corporal de 86kg [13], por lo tanto se debe considerar la rigidez, peso, costo y el fácil acceso.

Se hace un análisis y se determina que el material que cumple con las condiciones requeridas es el acero ASTM A36 y el acero ASTM A500 [14], los cuales poseen las propiedades mecánicas adecuadas, en la tabla 1 se muestra más detalles.

TABLA 2.1
CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES
SELECCIONADOS

Materiales seleccionados			
Material	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Peso específico (g/cm ³)	Costo
Acero ASTM A500	318,82	7,85	Medio
Acero ASTM A36	250	7.85	Medio

D. Análisis numérico

Para realizar el análisis de las piezas se utiliza un software comercial llamado SolidWorks este software se basa principalmente en el método de elementos finitos. Para realizar el análisis hay que poner las condiciones de contorno (ver la Fig. 2). W corresponde al peso del paciente (882N), dicho peso corporal está distribuido relativamente a lo largo de las diferentes secciones de la camilla [15].

También hay que asignar el material seleccionado de acuerdo a la tabla 2.1, para cada una de las piezas que conforman la estructura de la camilla médica.

Debido a que la estructura está formada de varias piezas, se realiza el análisis de elementos finitos de las principales piezas en las posiciones que soportan el esfuerzo máximo.

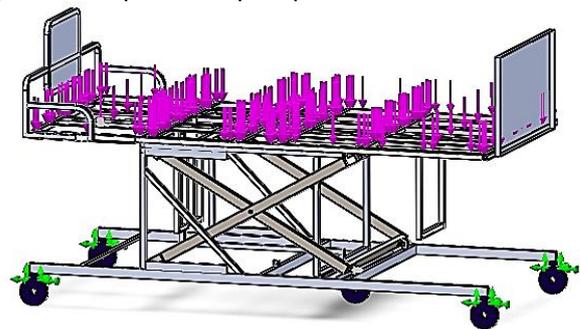


Fig. 2.14. Condiciones de frontera de la camilla médica

1. Análisis de convergencia

Con la finalidad de obtener resultados más confiables se realizan diferentes simulaciones, para esto se aplica diferentes tamaños de malla, y así ir variando el número de elementos para obtener diferentes datos de esfuerzos máximos en cada iteración y luego realizar el análisis de convergencia de las diferentes piezas.

En los resultados obtenidos, se muestra que para un número de elementos entre 56686 y 64493 en la tabla 2.2, 13496 y 18686 en la tabla 2.3, 20881 y 24220 en la tabla 2.4, 30074 y 33382 en la tabla 2.5, 136347 y 207709 en la tabla 2.6 se obtienen resultados confiables, ya que la variación del esfuerzo tiene un error porcentual menor al 5%

TABLA 2.2
ESFUERZO MÁXIMO DE LA BASE

NUMERO DE ELEMENTOS	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ERROR PORCENTUAL %
17938	78,15	
18848	77,46	0,88
20244	84,44	9,01
26185	90,5	7,18
28409	90,55	0,06
32655	115,07	27,08
35975	104,64	9,06
47976	130,99	25,18
56686	133,27	1,74
64493	134,46	0,89
714842	132,31	1,60

TABLA 2.3
ESFUERZO MÁXIMO DE LA BASE DESLIZANTE

NUMERO DE ELEMENTOS	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ERROR PORCENTUAL %
10463	73,13	
11190	70,93	3,01
11774	71,87	1,33
12792	64,18	10,70
13496	74,56	16,17
18686	73,80	1,02
20427	71,70	2,85
21907	70,91	1,10
31751	72,04	1,59
34809	74,42	3,30

TABLA 2.4
ESFUERZO MÁXIMO DEL ESPALDAR

NUMERO DE ELEMENTOS	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ERROR PORCENTUAL %
7943	87,28	
8411	90,84	4,08
8723	95,72	5,37
9235	98,81	3,23
12161	102,82	4,06
13225	108,77	5,79
19029	110,36	1,46
20881	117,12	6,13
24220	119,45	1,99
27582	117,04	2,02

TABLA 2.5
ESFUERZO MÁXIMO DEL REPOSAPIES

NUMERO DE ELEMENTOS	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ERROR PORCENTUAL %
16916	128,14	
18026	135,37	5,64
18928	135,44	0,05
19984	139,44	2,95
23241	142,98	2,54
24978	163,38	14,27
30074	161,03	1,44
33382	160,35	0,42
37352	164,54	2,61
44100	161,52	1,84

TABLA 2.6
ESFUERZO MÁXIMO DE LAS TIJERAS

NUMERO DE ELEMENTOS	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ERROR PORCENTUAL %
15201	44,72	
17127	44,41	0,69
26140	66,06	48,75
34378	84,69	28,20
39896	69,06	18,46
85381	97,18	40,72
109146	101,75	4,70
136347	108,31	6,45
207709	108,65	0,31
240583	107,26	1,28

2. Esfuerzos máximos

El esfuerzo máximo que se genera en la pieza base es de 134,46 MPa esto ocurre cuando la regulación de la altura llega al punto máximo que es 95cm, como se observa en la figura 2.15. Ésta medida es la altura entre el piso y el somier de la camilla médica

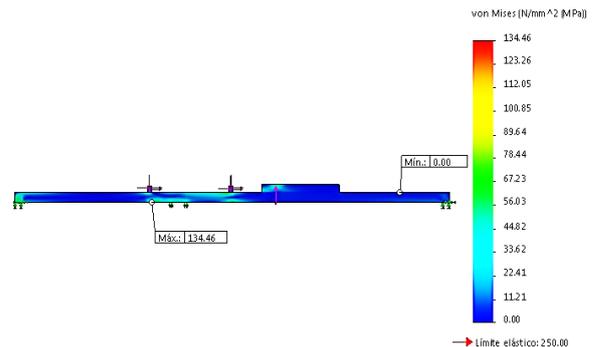


Fig. 2.15. Esfuerzo máximo – base

En la base deslizante de la camilla médica el esfuerzo máximo que se genera es de 73,80 MPa esto ocurre cuando la regulación de la altura de igual manera llega al punto máximo que es 95cm, como se observa en la figura 2.16.

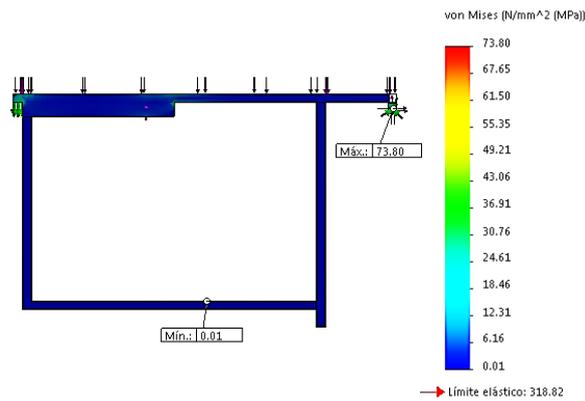


Fig. 2.16. Esfuerzo máximo – base deslizante

Para el espaldar de la camilla médica el esfuerzo máximo que se genera es de 119,45 MPa , como se observa en la figura 2.17.

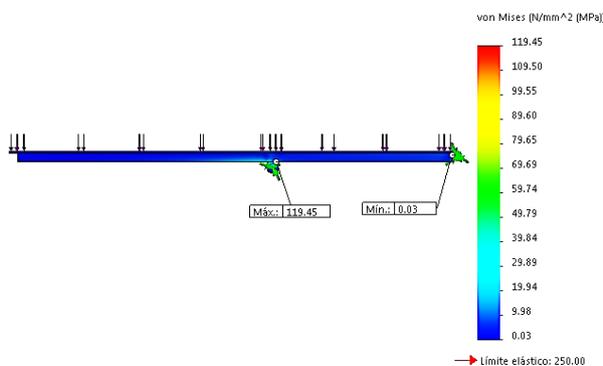


Fig. 2.17. Esfuerzo máximo – espaldar

Para el reposapiés de la camilla médica el esfuerzo máximo que se genera es de 160,35 MPa esto ocurre cuando la bipedestación llega a su punto máximo y el reposapiés soporta los 882N que es el peso total de la persona, como se observa en la figura 2.18.

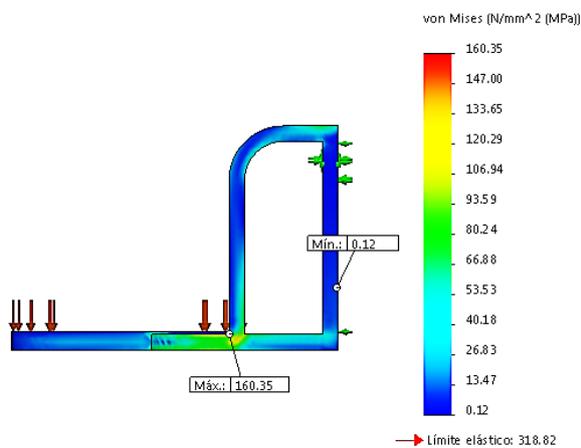


Fig. 2.18. Esfuerzo máximo – reposapiés

En las tijeras de la camilla médica el esfuerzo máximo que se genera es de 108,65 MPa, esto ocurre cuando la regulación de la altura llega al punto máximo que es 95cm

entre el piso y el somier (libre del colchón), como se observa en la figura 2.19.

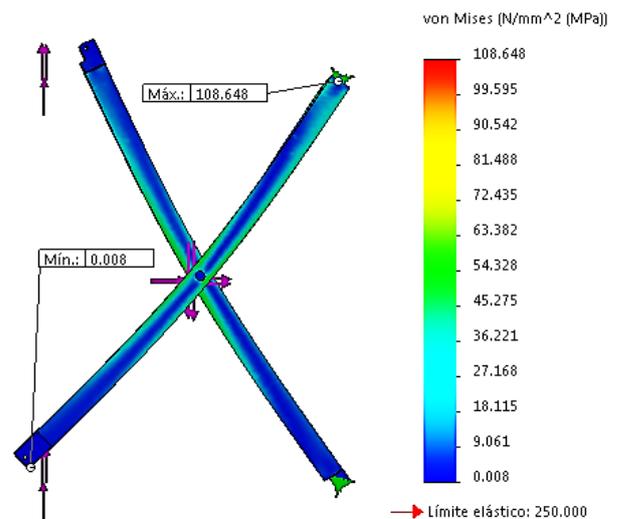


Fig. 2.19. Esfuerzo máximo – tijeras

3. Desplazamientos

El desplazamiento máximo en la pieza base es de 2,22 mm, lo que significa que existen desplazamientos pequeños, garantizando un buen funcionamiento, en la figura 2.20 se muestra los resultados de desplazamiento del análisis.

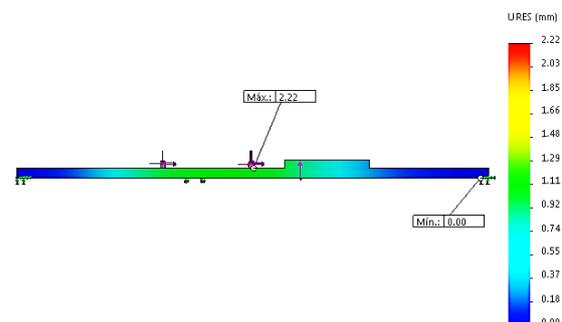


Fig. 2.20. Desplazamiento máximo – base

El desplazamiento máximo en la pieza base deslizante es de 0,20 mm, lo que significa que también existen desplazamientos pequeños, lo cual garantiza un buen funcionamiento, en la figura 2.21 se muestra los resultados de desplazamiento del análisis.

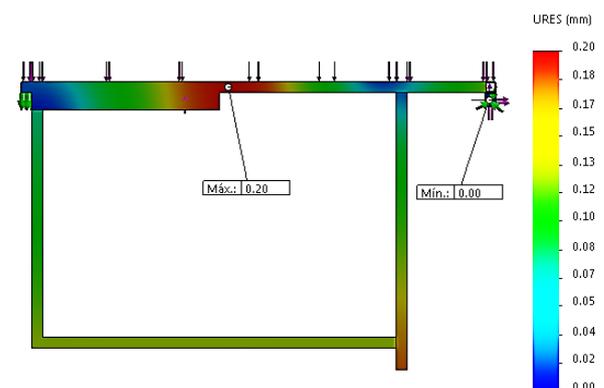


Fig. 2.21. Desplazamiento máximo – base deslizante

El desplazamiento máximo en la pieza espaldar es de 2,16 mm, esto quiere decir que los desplazamientos son pequeños y garantizan un buen funcionamiento, en la figura 2.22 se muestra los resultados de desplazamiento del análisis.

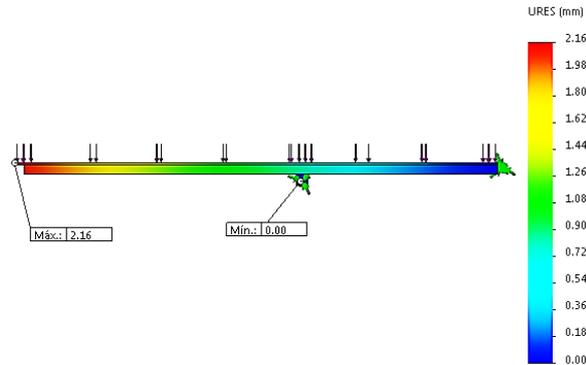


Fig. 2.22 Desplazamiento máximo – espaldar

El desplazamiento máximo en la pieza reposapiés es de 4,93 mm, esto quiere decir que los desplazamientos son un poco mayores a los anteriores pero tiene un factor de seguridad que garantiza que la pieza no falla, en la figura 2.23, se observan los resultados de desplazamiento del análisis.

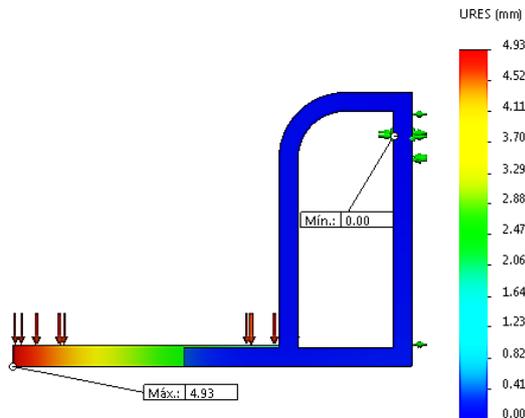


Fig. 2.23. Desplazamiento máximo – reposapiés

Por último se tiene el valor del desplazamiento máximo en las tijeras y este es de 0,78 mm, este desplazamiento es pequeño, lo cual garantiza un buen funcionamiento, en la figura 2.24, se muestra los resultados de desplazamiento del análisis.

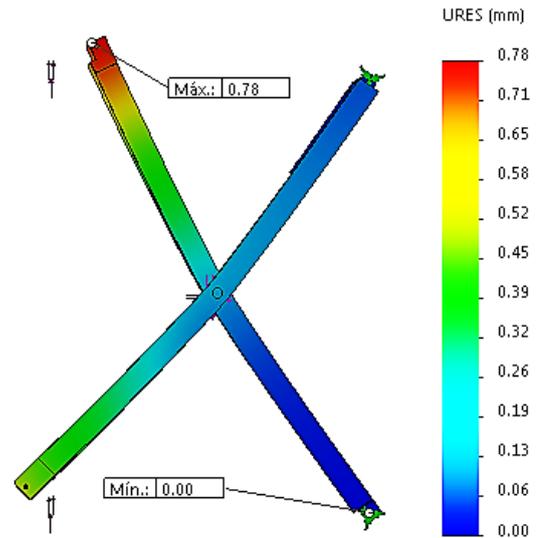


Fig. 2.24. Desplazamiento máximo – tijeras

4. Factor de seguridad

En el resultado del análisis de las piezas que soportan el esfuerzo máximo se tienen los siguientes resultados: para la base el factor de seguridad mínimo es de 1,9 ver figura 2.25, para la base deslizante el factor de seguridad mínimo es de 4,3 ver figura 2.26, para el espaldar el factor de seguridad mínimo es de 2,09 ver figura 2.27, para el reposapiés el factor de seguridad mínimo es de 2,0 ver figura 2.28, para las tijeras el factor de seguridad mínimo es de 2,3 ver figura 2.29.

Con los resultados que se obtienen en los factores de seguridad de las diferentes piezas se asegura que el esfuerzo máximo no supera al límite elástico del material, entonces se puede decir que el prototipo es capaz de soportar las cargas aplicadas sin que ocurra una falla estructural.

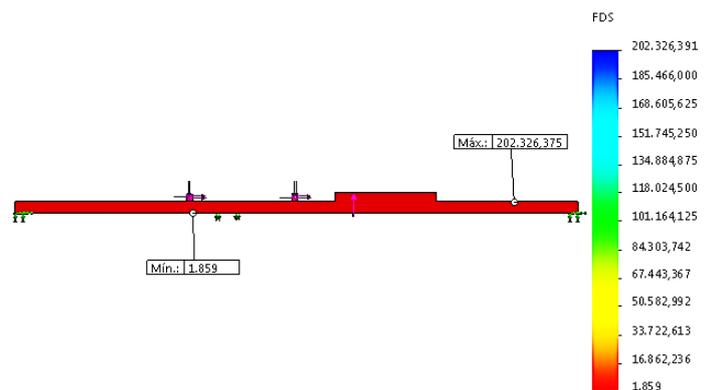


Fig. 2.25. Factor de seguridad mínimo – base

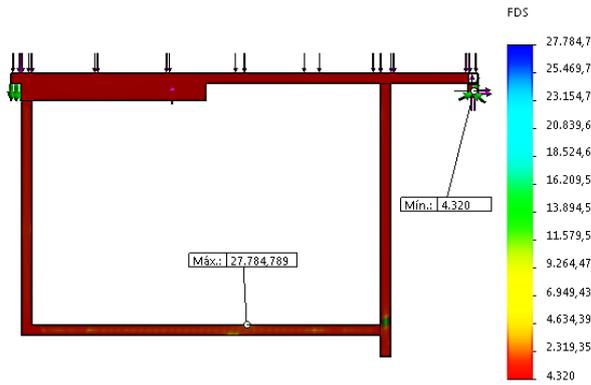


Fig. 2.26. Factor de seguridad mínimo – base deslizante

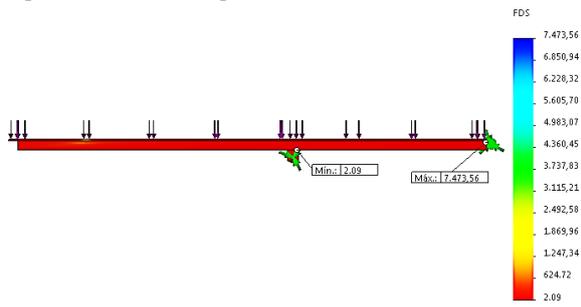


Fig. 2.27. Factor de seguridad mínimo – espaldar

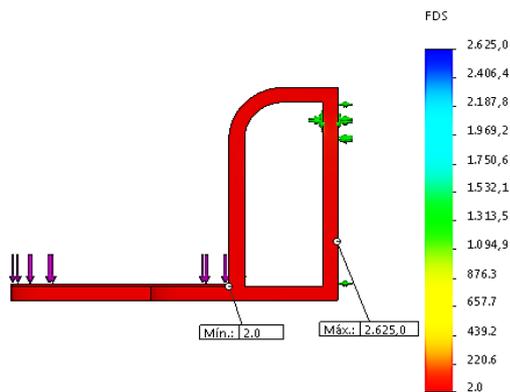


Fig. 2.28. Factor de seguridad mínimo – reposapiés

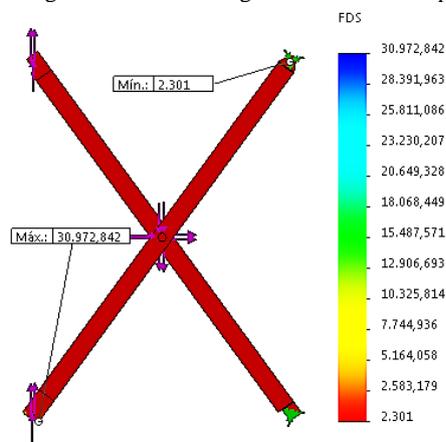


Fig. 2.29. Factor de seguridad mínimo – tijeras

E. Diseño electrónico

1. Selección del actuador lineal

Se evalúan los diferentes actuadores lineales los cuales deben cumplir ciertas características como: limpieza, precisión, fácil mantenimiento, fácil traslado, optimización del espacio y fácil control.

Para la elección del actuador se hace una tabla comparativa para ver si cumplen con los requerimientos propuestos. La tabla comparativa se evalúa en una escala entre 1 y 10, siendo 10 el más conveniente.

Tabla 2.7. Análisis de los actuadores lineales [6]

ACTUADORES LINEALES			
Características	Neumáticos	Hidráulicos	Eléctricos
Limpieza	8	7	10
Precisión	7	7	9
Mantenimiento	8	7	10
Espacio	7	6	9
Fácil traslado	6	6	10
Fácil control	8	8	9
TOTAL	44	41	57

De acuerdo a los resultados de la tabla comparativa 2.7 que se realiza el actuador eléctrico es el más conveniente ya que cumple con los requerimientos deseados.

2. Control de los actuadores

Para realizar los diferentes movimientos de la camilla se seleccionan actuadores eléctricos los cuales tengan el suficiente recorrido del vástago. Y además se elige un módulo de relés, para el accionamiento del actuador. Mediante la conexión de la Fig. 2.30 se logra hacer el control del giro de los diferentes actuadores [16].

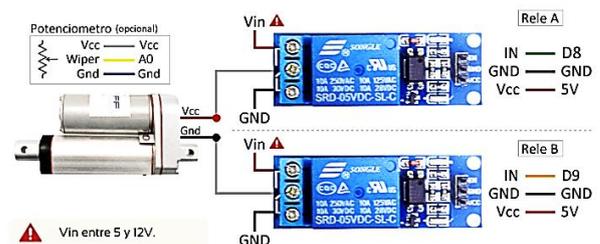


Fig. 2.30. Conexión módulo de relés

3. Selección de la tarjeta de control

Para el correcto funcionamiento del control de la camilla médica es necesario que la tarjeta controladora arduino tenga los suficientes pines, para que los criterios que se presentan a continuación se cumplan.

- Visualización de una pantalla LCD 16x2.
- Entradas para seis sensores de distancia.

- Salidas hacia los canales de los módulos relés para el control los diferentes actuadores que realizan las diferentes posiciones.
- Entradas de las señales de los diferentes pulsadores.

Teniendo en cuenta las características de cada una de las posibles alternativas se elige la adecuada mediante una tabla comparativa.

Tabla 2.8. Análisis de las tarjetas arduino

TARJETAS ARDUINO			
Características necesarias	NANO	UNO	MEGA
30 E/S Digitales	NO	NO	SI
3 Salida PWM	SI	SI	SI
Conexión fuente externa	NO	SI	SI

Se puede ver en la tabla comparativa 2.8, que la tarjeta arduino MEGA (ver Fig. 2.31.), cumple con todos los requerimientos para el diseño, por lo tanto es la que se ha seleccionado.



Fig. 2.31. Tarjeta arduino Mega

4. Control en lazo cerrado

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia [18].

La figura 2.32 muestra el diagrama del proceso que cumple el control en lazo cerrado para el posicionamiento de los diferentes movimientos que realiza la camilla médica. Este sistema cuenta con una retroalimentación a través de un sensor de distancia que es el que censa y envía esta señal al controlador para que sea comparada con la posición de referencia seleccionada por el encargado de salud. Así se logra que el actuador llegue a la posición requerida que se encuentra predeterminada en el programa de control.

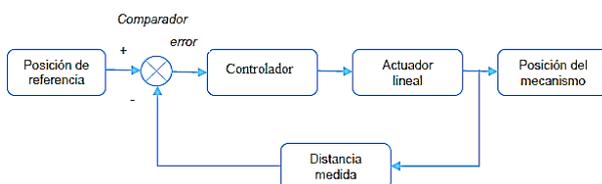


Fig. 2.32. Diagrama de bloques lazo cerrado

F. Ensamblaje y pruebas

Una vez que se ha finalizado con el proceso de ingeniería y se dispone de todos los planos correspondientes a cada pieza se construyen todas las piezas para luego proceder a ensamblar el equipo médico completamente y hacer las pruebas de funcionamiento con un paciente. Luego comprobar los diferentes movimientos que realiza el equipo médico.

III. RESULTADO

Se obtiene un dispositivo médico que es una camilla articulada para pacientes de un peso máximo de 882N. Las técnicas CAD – CAE se usan como herramientas para comprobar el correcto diseño del dispositivo médico, este software permite verificar el factor de seguridad el cual da como resultado un valor por encima de 1, esto demuestra que el dispositivo médico no falla y resiste a las cargas a las que está sometido durante su funcionamiento.

Por último las pruebas de la camilla médica articulada utilizando un paciente, permiten probar que el modelo es completamente satisfactorio.

IV. CONCLUSIONES

Se realiza una camilla médica articulada de cambio de posición para los pacientes que han perdido la motricidad parcial o total de su cuerpo y se ven obligados a pasar largos periodos de tiempo acostados o en una sola posición y necesitan rehabilitarse.

El material que se utiliza es el adecuado debido al costo, la relación fuerza/peso y es de fácil acceso en el medio.

El módulo de relés es el adecuado para el movimiento de los actuadores ya que mediante una conexión correcta permite realizar el cambio de giro que es importante para realizar los movimientos deseados para la rehabilitación del paciente.

El equipo médico tiene un comportamiento satisfactorio debido a que realiza los movimientos deseados como: bipedestación se observa en la figura 2.33, regulación de altura de la camilla en la figura 2.34, fowler se muestra en la figura 2.35, flexión rodillas se puede apreciar en la figura 2.36, trendelemburg se muestra en la figura 2.37 y movilización del paciente a diferentes ambientes planos, correctamente.

V. RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a: Ingeniería Mecatrónica y a la escuela de Fisioterapia de la Universidad Técnica del

Norte por los conocimientos compartidos para que esta investigación se lleve a cabo.



Fig. 2.33 Camilla médica en la posición bípeda



Fig. 2.35 Camilla médica en la posición fowler



Fig. 2.36 Camilla médica en la posición flexión de rodillas



Fig. 2.34 Camilla médica en la posición decúbito supino



Fig. 2.37 Camilla médica en la posición trendelemburg

Bibliografía

- [1] «MedlinePlus,» [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003190.htm>. [Último acceso: 10 Diciembre 2017].
- [2] R. Plaza Blázquez, R. M. Guija Rubio, M. L. Martínez Ivars, M. Alarcón Alarcón, C. Calero Martínez, J. Piqueras Díaz y E. Hernández García, «Prevención y tratamiento de las Úlceras por Presión,» *redalycs.org*, pp. 1-8, 2007.
- [3] J. F. Martínez López, Prevención y tratamiento de úlceras y escaras, Málaga: Editorial Vértice, 2008.
- [4] R. Atala Castellanos, R. Alvarez Domínguez y J. Pascual García, «¿POR QUE LAS ESCARAS?,» *Revisiones bibliográficas*, pp. 1-6.
- [5] «Fisioterapia para todos,» [En línea]. Available: <http://www.fisioterapiaparatodos.com/enfermedades-de-la-piel/escaras-en-la-piel-causas-y-grados/>. [Último acceso: 15 Diciembre 2017].
- [6] D. F. Carvajal Flores, *DISEÑO DE UNA CAMILLA PARA MOVILIZACIÓN Y BIPEDESTACIÓN DE PACIENTES*, Ibarra, 2016.
- [7] J. F. Matínez López, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE ÚLCERAS Y ESCARAS, Málaga: Publicaciones Vértice S. L., 2008.
- [8] R. Ávila Chaurand, L. Prado León y E. González Muños, *Dimensiones antropométricas población latinoamericana*, Guadalajara: D. R., 2007.
- [9] S. P. Ramírez Plaza, Movilización de paciente, España: Editorial Vértice, 2007.
- [10] P. Cevallos Arroyo, *AUTOMATIZACIÓN DE UNA CAMA DE CUIDADOS INTENSIVOS DEL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN*, Quito, 2010.
- [11] J. Pardo Herrera, «Camilla articulada para clínicas». España Patente 1028.256, 16 Diciembre 1994.
- [12] J. M. Arroyo Talledo, «Camilla multifunción articulada transformable en silla, adaptable a camas y bañeras, simplificada». España Patente 1048.125, 16 Junio 2001.
- [13] J. Comas Carreras, «Camilla articulada y plegable para tratamientos corporales». España Patente 288.342, 16 Diciembre 1985.
- [14] N. R. Pérez Lafragua, *DISEÑO DE ÓRTESIS ACTIVA DE CODO PARA REHABILITACIÓN DE PACIENTES ESPÁSTICOS*, México, 2012.
- [15] C. Cházaro Rosario, O. Alvarez Valadez y V. G. Uribe Pérez, *El acero hoy*, México: imca.
- [16] L. R. Cabrera, «Modificaciones adaptativas en el sistema locomotor,» *efdeportes.com*, pp. 5-6, 2013.
- [17] L. Llamas, «Ingeniería, informática y diseño,» [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/>. [Último acceso: 17 Mayo 2018].
- [18] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S. A., 2010.