



## ESTUDIO Y DISEÑO DE PRODUCTO PARA LA VIABILIDAD ERGONÓMICA DE UNA SILLA DE RUEDAS BASCULANTE

\*Ana Carolina Russo<sup>1</sup>, Luis Henrique Suda Rodrigues<sup>2</sup>, Thomas Steinhauer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO, São Paulo, SP, Brasil,

<sup>2,3</sup> Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia – IMT, São Caetano do Sul, SP, Brasil

E-mail: [ana.russo@fundacentro.gov.br](mailto:ana.russo@fundacentro.gov.br)

### RESUMEN

Se puede entender que las personas con limitaciones, haciendo uso de una silla de ruedas en caso de ser necesario, además de tener restricciones de movilidad y problemas de salud derivados de permanecer en la posición sentada, dependen diariamente de la ayuda de los cuidadores para diversas actividades. El objetivo de este trabajo fue estudiar la factibilidad ergonómica y económica para el diseño de producto de una silla de ruedas con sistema basculante. Para ello, se mapearon las inclinaciones ergonómica y fisiológicamente ideales de su asiento y respaldo y las adaptaciones necesarias para aportar beneficios en términos de accesibilidad, movilidad, salud y seguridad. A través de investigaciones teóricas, contactos y entrevistas con usuarios de sillas de ruedas, médicos y profesionales del área, fue posible adquirir conocimientos teóricos y prácticos para la mejor aplicabilidad posible de la idea. Después de la inmersión en el problema y el análisis de las necesidades y requerimientos del público objetivo, se diseñó una silla de ruedas que contenía las mejoras sugeridas, con el objetivo de satisfacer las necesidades del usuario de silla de ruedas de acuerdo con su etapa clínica. La ergonomía del producto diseñado se analizó en combinaciones angulares del asiento y el respaldo que demuestran una mejor distribución de la presión arterial del usuario de silla de ruedas, reduciendo las enfermedades derivadas de la permanencia excesiva en la silla. Finalmente, se concluyó que se logró el objetivo del estudio, ya que se evidenciaron mejoras posturales para el paciente en comparación con una silla de ruedas convencional, disminuyendo el riesgo de retirar al usuario de silla de ruedas por parte del cuidador.

**PALABRAS CLAVE:** Silla de ruedas; Ergonomía; Cuidador; Laderas; Accesibilidad.

### ABSTRACT

It can be understood that people with limitations requiring the use of a wheelchair besides having mobility restrictions and health problems as consequence of staying on a sitting position for extended periods of time, also depend on the daily help of caregivers for various activities. The objective of this study was to evaluate the ergonomic and economic viability of a tilt system wheelchair project. To achieve it, the optimal ergonomical and physiological inclinations of the seat and back support were mapped, as well as required changes that resulted accessibility, mobility, health and safety benefits. Through theoretical research and interviews and conversations with wheelchair users, doctors and professionals in the area, it was possible to obtain theoretical and practical knowledge for the best possible application of the idea. After deep immersion in the problem and analysis of the needs and requirements of the targeted niche, a wheelchair containing the suggested improvements was designed, aiming to meet the needs of the users according to their clinical stage. The ergonomics of the designed product have been evaluated through angled seat and backrest combinations analysis, which have proven a better distribution of wheelchair blood pressure, reducing illnesses from excessive sitting. In conclusion, the work had its objective achieved, because when compared to a conventional wheelchair, postural improvements and risk reduction in the removal of the patient by the caregiver were evidenced.

**KEYWORDS:** Wheelchair; Ergonomic; Caregiver; Tilts; Accessibility.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según datos del Censo Demográfico del IBGE, más de 45 millones (23,9% de la población total) de brasileños declaran tener alguna discapacidad visual, auditiva, mental o motora, con discapacidad motora equivalente a aproximadamente el 7% de los habitantes (alrededor del 30% de los discapacitados) en el país (IBGE, 2010; IBGE EDUCA, [s.f.]).

Para superar una discapacidad motora (temporal o permanente), puede ser necesario el uso de una silla de movilidad, que debe proporcionar el mejor confort ergonómico y fisiológico para la salud del individuo, reduciendo así las enfermedades derivadas de su condición inicial.

También se debe analizar la remoción del paciente por parte del cuidador, con el objetivo de reducir los riesgos en todas las actividades involucradas en una silla de ruedas.

Metodologías ergonómicas como RULA y REBA pueden ser utilizadas para analizar la ergonomía de los usuarios de sillas de ruedas y de los cuidadores porque analizan, respectivamente, la postura del paciente en el equipo y el riesgo que implica la actividad de retirar al paciente por parte del cuidador, justificando la realización de este trabajo.

La silla de ruedas con sistema basculante no define las inclinaciones ergonómicamente ideales para el paciente, solo la posición sentada y las inclinaciones definidas por el propio paciente o cuidador. Las inclinaciones incorrectas pueden provocar complicaciones de salud, como resultado, por ejemplo, de la falta de circulación sanguínea, atrofia muscular o problemas posturales debido a la elección de una mala posición.

Así, el presente estudio tuvo como objetivo proponer una intervención y realizar un análisis ergonómico en una silla de ruedas con sistema basculante. El proyecto tiene como objetivo garantizar que el producto sea capaz de proporcionar la ergonomía necesaria tanto para las personas con restricción de movimiento o enfermedades que limitan su movimiento como para sus respectivos cuidadores.

## 2. METODOLOGÍA

Para definir las preguntas que se presentaron en el cuestionario se utilizó la metodología para la elaboración del cuestionario y las técnicas conductuales propuestas por Lida y Buarque (2016). Esta metodología incluye: (1) planificación: qué objetivos, plazos y confiabilidad; (2) definición del muestreo: evaluado considerando el público objetivo, el tamaño de la muestra y el procedimiento de muestreo; (3) Construcción del cuestionario: lista de preguntas, ordenación, disposición, procesamiento de las respuestas.

El objetivo de la planificación fue recoger datos de personas que utilizan sillas de ruedas o que en algún momento de su vida las utilizaron o de profesionales de la salud (fisioterapeutas y médicos), aportando a nuestro estudio ergonómico lo realmente necesario para implementar mejoras con el fin de satisfacer las necesidades y deseos del mercado. Con el fin de recibir respuestas con mayor fiabilidad, se consideraron anónimas, preservando la identidad del individuo.

La definición de la muestra fue extremadamente filtrada, con la ayuda del médico Silvio Labate Rodrigues y estudiantes de medicina de la UNIMES (Santos, SP) para compartir el cuestionario con los pacientes y sus respectivos cuidadores en clínicas y hospitales. Así, 43 personas respondieron al cuestionario hasta el diez de junio de dos mil diecinueve.

Poniendo en práctica una escala utilizada para medir actitudes y conocer el grado de compatibilidad basada en el modelo *Likert*, la construcción del cuestionario se ordenó estratégicamente en la siguiente secuencia:

- a) Edad
- b) Sexo
- c) ¿Es usted usuario, médico o cuidador?
- d) ¿Qué tipo de limitación tiene usted o su paciente?
- e) ¿Cuál es el grado de su limitación o la limitación de su paciente?
- f) ¿Por qué usted o su paciente usan una silla de ruedas?
- g) ¿Con qué frecuencia se utiliza el equipo?
- h) ¿Cómo se compró esta silla?
- i) ¿Cuál es el peso de la silla de ruedas que se utiliza actualmente?
- j) ¿Cómo califica la funcionalidad y la comodidad de la silla de ruedas?
- k) ¿Cómo valora la ergonomía y la seguridad de las sillas de ruedas?
- l) ¿Cómo clasifica el tema de la accesibilidad de los equipos de apoyo (mesas, soportes, duchas, etc.) de la silla de ruedas?
- m) ¿Sería importante definir más de una posición ergonómicamente óptima para su comodidad o la comodidad de su paciente?
- n) ¿Consideras que una silla de ruedas con sistema de inclinación es un buen producto?
- o) ¿Las personas con limitaciones reciben el mismo trato en comparación con las personas sin limitaciones?
- p) ¿Cuáles son las principales barreras con las que se encuentra un usuario de silla de ruedas?
- q) ¿Qué sugerencias de mejora cree que son relevantes para que su silla de ruedas sea ideal?

## RECOGIDA DE DATOS

En este estudio se aplicaron algunos de los métodos presentados por Iida y Buarque (2016) para la recolección de datos experimentales. Se realizaron observaciones directas e informales, buscando comprender cualitativamente el esfuerzo realizado por los usuarios de silla de ruedas y sus respectivos cuidadores. Además, se practicó un grupo focal y entrevistas informales en la "Feria Hospitalaria 2019", con el objetivo de comprender el escenario actual del mercado de sillas de ruedas y otros utensilios fisioterapéuticos que ayudan al paciente, recabando información cualitativa.

En las evaluaciones cualitativas, se obtuvo a través de una entrevista con el fisioterapeuta Francisco De Paula, que los pacientes muchas veces no se preocupan por las posiciones ideales (ergonómicamente factibles) sino por su comodidad momentánea, es decir, muchas veces las complicaciones causadas por la excesiva permanencia en la silla de ruedas son el resultado de un mal uso del propio paciente.

Otro aspecto planteado en la conversación fue que la mayoría de los cuidadores, por realizar movimientos repetitivos y estar con el paciente las 24 horas del día, terminan teniendo complicaciones principalmente en la lumbar al manipular/transportar al paciente de la silla de ruedas a una cama, mesa, baño, entre otros.

## ANÁLISIS ERGONÓMICO

El análisis ergonómico del trabajo tiene como objetivo evaluar, comprender y corregir una situación real de trabajo a través del conocimiento ergonómico, ramificado en el análisis de la demanda, el análisis de tareas, el análisis de actividades, el diagnóstico y las recomendaciones (IIDA, 2005). De acuerdo con la legislación brasileña en la Norma Reglamentaria 17 (BRASIL, 1978), para evaluar la adaptación de las condiciones de trabajo a las características psicológicas y fisiológicas de los trabajadores, corresponde al empleador realizar un análisis ergonómico del trabajo, que debe abordar, al menos, las condiciones de trabajo. Las condiciones de trabajo incluyen aspectos relacionados con la elevación, el transporte

y la descarga de materiales, muebles, equipos, las condiciones ambientales del lugar de trabajo y la propia organización del trabajo (COUTO, 1996).

El presente trabajo utilizó herramientas ergonómicas para simular al usuario de silla de ruedas, a diferencia de una estación de trabajo, pero, debido a la excesiva permanencia en el equipo, sus actividades podrían interpretarse de manera similar a todas las herramientas utilizadas en el proyecto (Dassault-Ergonomics y Ergolandia – Métodos RULA y REBA).

Con un público objetivo de prácticamente el 50% de los ancianos, se tuvo en cuenta que, a partir de los 50 años, se produce una disminución por envejecimiento en la antropometría estática, en la que se pierden 3 cm hasta los 80 años, dando como resultado una postura cada vez más alejada de la ideal y facilitando más complicaciones. El análisis ergonómico que propone la obra es, precisamente, evitar estos problemas derivados de la excesiva permanencia en la silla de ruedas.

Como consecuencia del análisis ergonómico en el objeto de estudio del presente estudio, se mapearon 17 posibles adaptaciones en la silla de ruedas, divididas en 4 frentes distintos (Gráfico 1):

Gráfico 1 - Mapeo de mejoras

Accesibilidad y movilidad	Seguridad	Salud	Estética
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporte para accesorios</li> <li>• Portavasos</li> <li>• Adaptador de paraguas</li> <li>• Mesa "Multiusos"</li> <li>• Silla plegable</li> <li>• Soporte de brazo plegable para facilitar la extracción/inserción del paciente</li> <li>• Posibilidad de migrar el archivo "Controles" del lado derecho o izquierdo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor distancia entre la llanta y las ruedas</li> <li>• Sistema de frenos (para el paciente y el cuidador)</li> <li>• Sistema anticaídas ubicado en las ruedas</li> <li>• Cinturón de seguridad (tronco/piernas/brazos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almohadas con colchón Eggshell</li> <li>• Masajeador de piernas</li> <li>• Adaptador de tanque de oxígeno</li> <li>• Adaptador / Soporte para suero / gancho de sangre, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bloquear Bastidor simple/individual (asiento/respaldo/patas)</li> <li>• Personalización de tapacubos y otros accesorios</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## FORMULACIÓN DEL DIAGNÓSTICO

El diagnóstico busca encontrar la razón que causa el problema mencionado en el análisis de la demanda, tarea y actividad (ABRAHÃO et al., 2009). A la vista de las respuestas recolectadas, fue posible percibir que las quejas de los cuidadores se refieren precisamente a la fatiga y a las lesiones en la parte baja de la espalda debido a los constantes movimientos y a las excesivas jornadas de trabajo. Desde el punto de vista de los usuarios, la mayor queja se debe al excesivo tiempo en silla de ruedas, lo que se traduce en úlceras por presión y trombosis, que a medio y largo plazo pueden acarrearles nuevas complicaciones, reduciendo directamente su calidad y esperanza de vida. Además de la presentación de los datos recolectados, *se utilizó el Software de Ergonomía* para formular el diagnóstico a través de la simulación de las actividades estudiadas en el lugar de trabajo.

## RECOMENDACIONES ERGONÓMICAS

Las recomendaciones presentes en el estudio están asociadas a lo que se debe hacer para resolver el problema diagnosticado, presentando pasos muy detallados para resolver el problema (IIDA; BUARQUE, 2016). Es necesario remodelar la silla de ruedas, contemplando todas las variables que interfieren en el movimiento, la movilidad y la accesibilidad del paciente y del cuidador. En otras palabras, se trata de recomendaciones para la evaluación de

la micro y macro ergonomía con el objetivo de presentar soluciones viables al caso de estudio evaluado.

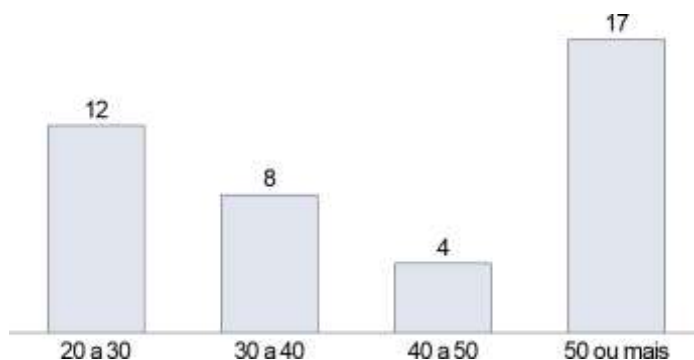
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La encuesta se realizó con el objetivo de conocer el perfil de los individuos que utilizan sillas de ruedas, buscando comprender sus necesidades, motivo de uso, atributos y limitaciones del equipo, con el objetivo final de comprender la ergonomía del equipo y las posibles mejoras a implementar.

El análisis se dividió en seis bloques, siendo el primero un censo, para conocer las características de los encuestados de la muestra, que tuvo 41 respuestas.

En la Figura 1 se muestra la distribución de las respuestas por grupos de edad. Teniendo en cuenta el grupo de edad, es posible observar que la mayor concentración se encuentra en el grupo de 50 años y más, con énfasis también en las personas de 20 a 30 años.

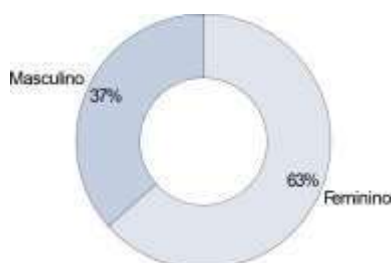
Figura 1 - Grupo de edad



Fuente: Elaboración propia

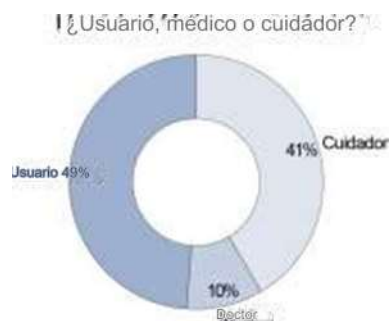
La distribución por género, a su vez, señala que las mujeres representan el 63% de los encuestados, mientras que los hombres indican un porcentaje menor (37%). Se puede observar que la distribución de la muestra está segmentada de forma similar entre usuarios (49%) y cuidadores (41%) al comparar el perfil del encuestado. Los médicos, a su vez, representaron el 10% de las respuestas (4 respuestas), como se muestra en la Figura 2 y Figura 3, respectivamente.

Figura 2 - Sexo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 - Encuestado



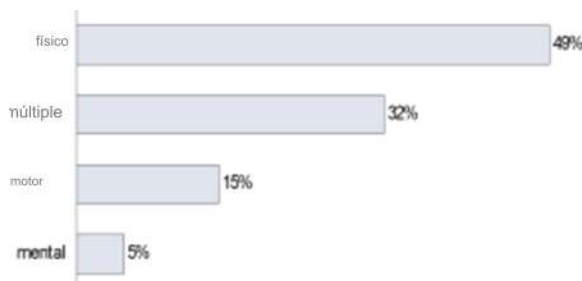
Fuente: Elaboración propia

El segundo bloque de respuestas tiene como objetivo comprender el tipo y grado de limitación, así como el motivo del uso del equipo por parte del usuario o paciente atendido por el cuidador.

La limitación física cubre casi el 50% de los encuestados, siendo el principal foco de análisis e implementación de soluciones, seguido de la discapacidad múltiple, que afecta al 31,71% de los

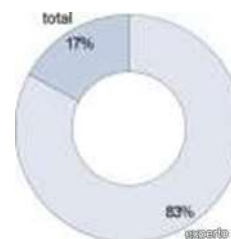
Entrevistado. Las limitaciones motoras y mentales tienen una representatividad de 14,63% y 4,88%, respectivamente. Las respuestas se pueden ver en la Figura 4. En la Figura 5, donde se evalúa el grado de limitación, se observa que la limitación parcial representa la mayor parte de la muestra, con 34 respuestas. Siete entrevistados tenían limitación total o atendían a personas con este grado de limitación.

Figura 4 - Tipo de limitación



Fuente: Elaboración propia

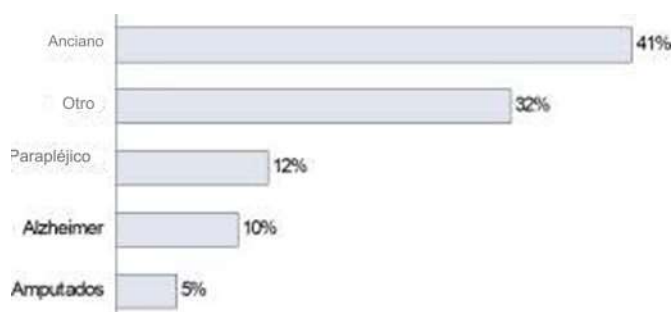
Figura 5 - Grado de limitación



Fuente: Elaboración propia

Al evaluar el motivo de uso de sillas de ruedas, se destaca que las limitaciones relacionadas con la edad representan el principal motivo de uso de sillas de ruedas, representando el 41,46% del grupo estadístico (Figura 6). Otras enfermedades también tienen alta relevancia, con 13 respuestas entre los 41 entrevistados y las otras categorías sumadas tienen 11 respuestas (26,83%).

Figura 6 - Motivo de uso



Fuente: Elaboración propia

El tercer bloque tiene como objetivo analizar las generalidades de la silla de ruedas para los encuestados, con el objetivo de comprender las funcionalidades generales del equipo y mapear su respectivo proceso de compra y frecuencia de uso.

A partir del análisis de la Figura 7, es posible observar que más de la mitad de la muestra adquirió la silla de ruedas con recursos propios (56,10%). El recibo gratuito a través de donaciones de un organismo público también tiene una gran representación (12,20%), mientras que las otras opciones (Alquiler, Familia y amigos, campaña social, préstamo o financiación) suman un 31,7%.

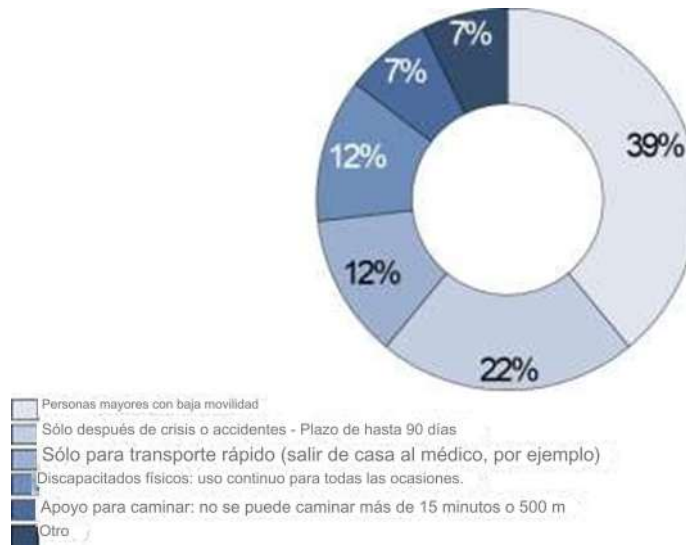
Figura 7 - Cómo comprar



Fuente: Elaboración propia

La frecuencia de uso muestra que entre los 41 entrevistados, el 39% (16 personas) respondió que son ancianos con baja movilidad o que cuidan a personas mayores. El uso continuo y el uso solo para transporte rápido presentaron el 12,10% de las respuestas, con 5 personas cada una (Figura 8).

Figura 8 - Frecuencia de uso

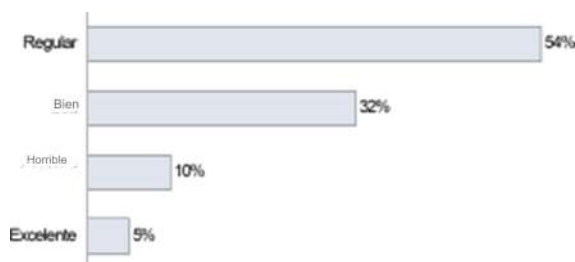


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la funcionalidad de la silla de locomoción, en la Figura 9 se observa que, sumando las categorías regular y muy pobre, el 63,42% de los entrevistados admite que el equipo tiene algún problema. También vale la pena mencionar que menos del 5% califica su silla como excelente.

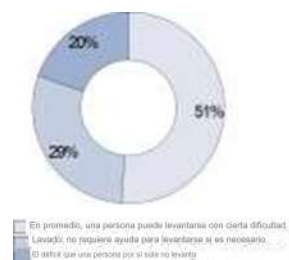
La Figura 10 muestra que el peso, a su vez, no representa el principal cuello de botella en la evaluación del equipo, ya que el 29,27% lo considera liviano y el 51,22% entiende que una persona puede levantar la silla de ruedas con algún esfuerzo.

Figura 9 - Funcionalidad del equipo



Fuente: Elaboración propia

Figura 10 - Peso del equipo

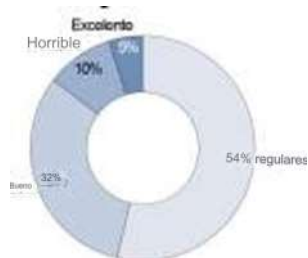


Fuente: Elaboración propia

El cuarto bloque tiene como objetivo comprender la ergonomía del producto, con el objetivo de mapear la accesibilidad y la calidad ergonómica del producto, además de comprender la importancia de implementar un sistema de inclinaciones ideales.

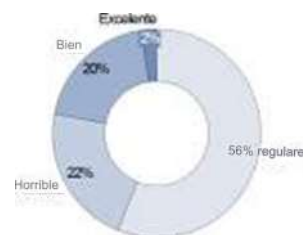
En la Figura 11 se observa que, después de agregar las clasificaciones Regular (53,66%) y Muy Mala (12,20%), es notable que para la mayoría de la muestra, la ergonomía de la silla de ruedas necesita mejoras. Cuando analizamos la accesibilidad de los equipos de apoyo para usuarios de sillas de ruedas, presentes en la Figura 12, el 21,95% los clasifica como muy malos y el 56,10% como regulares, representando, por tanto, uno de los principales cuellos de botella del producto y, en consecuencia, un foco de actuación en este trabajo. Para ambos criterios, solo el 2,44% considera que la silla de locomoción es excelente.

Figura 11 - Ergonomía de la silla de ruedas actual



Fuente: Elaboración propia

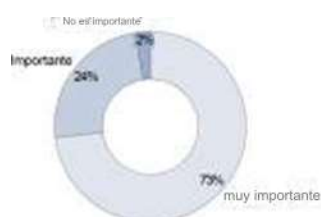
Figura 12 - Accesibilidad del equipo de apoyo



Fuente: Elaboración propia

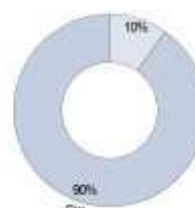
En cuanto a la implementación de un sistema de inclinaciones y la definición de posiciones ideales, se puede ver que el tema de la inclinación representa un gran factor de atención e implementación de mejoras para un usuario de silla de ruedas. Como se muestra en la Figura 13, solo el 2,44% de la muestra no considera importante el sistema de basculación en silla de ruedas, mientras que el 73,17% considera muy importante el atributo. Frente a la definición de posiciones ergonómicamente ideales, el 90,24% de las personas entrevistadas considera importante definir más de una posición ergonómicamente ideal, entendiendo que este sistema puede traer beneficios (Figura 14).

Figura 13 - Importancia del sistema de pendientes.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 - Relevancia de un sistema de pendientes



Fuente: Elaboración propia

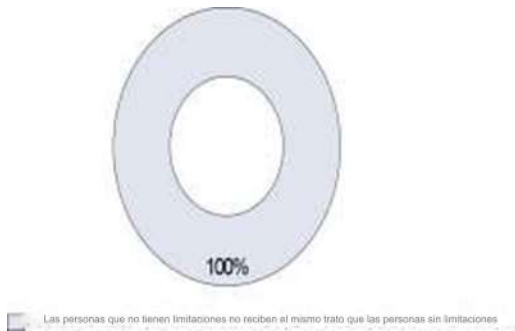
El quinto bloque de respuestas busca analizar la integración social de los usuarios de sillas de ruedas en la sociedad. La figura 15 muestra que el 100% de la muestra entiende que las personas con algún tipo de limitación no son tratados de la misma manera que las personas sin





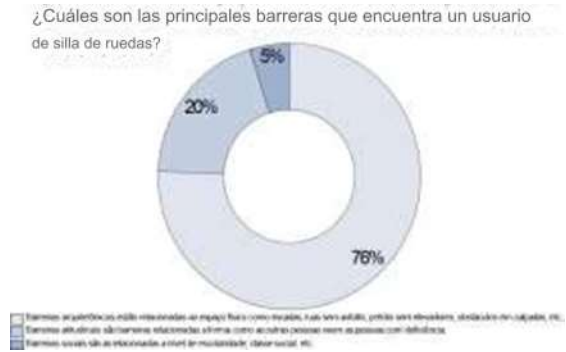
limitaciones, mientras que en la Figura 16 se observa que, en el caso de los usuarios de sillas de ruedas, 31 encuestados (75,61%) ven las barreras arquitectónicas como el principal problema a resolver.

Figura 15 - Tratamiento de los usuarios de sillas de ruedas



Fuente: Elaboración propia

Figura 16 - Principales barreras encontradas



Fuente: Elaboración propia

El sexto y último bloque de respuestas busca comprender cuáles son las mejoras más relevantes en términos de accesibilidad y funcionalidad para que la silla de ruedas satisfaga las necesidades del usuario de silla de ruedas y de su respectivo cuidador. El análisis de las respuestas de la Figura 17 mostró 16 posibles mejoras a implementar, siendo los principales destaques la definición de inclinaciones ideales a través de control remoto, mesa multipropósito, soporte de brazo plegable o extraíble, cinturón de seguridad y sistema anticaídas.

Figura 17 - Encuesta Encuesta: Mejoras necesarias



Fuente: Elaboración propia

Tras la inmersión y el análisis realizado a través de las respuestas del cuestionario, se verificó la ergonomía de la silla de ruedas convencional y el impacto de retirar el reposabrazos para facilitar el transporte del paciente por parte del cuidador.

**REVISIÓN DE SILLA DE RUEDAS CONVENCIONAL**

El modelo de silla de ruedas descrito a continuación en la Figura 18 (silla de ruedas convencional según las normas ABNT) fue analizado por el software *Ergonomics* de *CATIA*, tomando como referencia la metodología RULA.

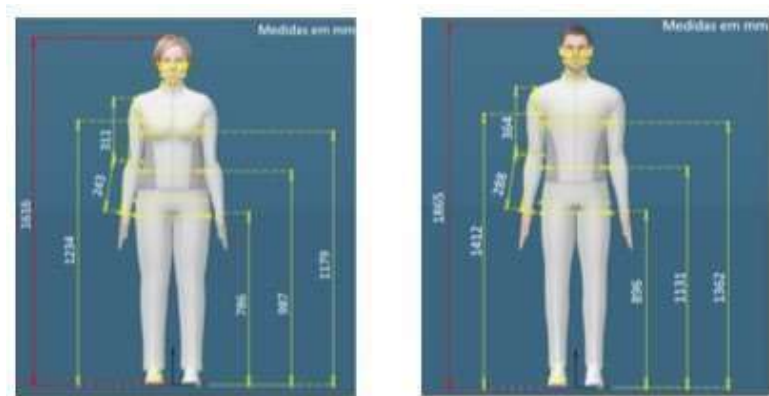
Figura 18 - Silla de ruedas convencional



Fuente: Elaboración propia

Se probaron dos tipos de maniqués para dilucidar las diferencias de altura y peso entre la población general. Con el fin de parametrizar el estudio, se eligió un maniquí femenino y otro masculino. Sus dimensiones se muestran en la Figura 19.

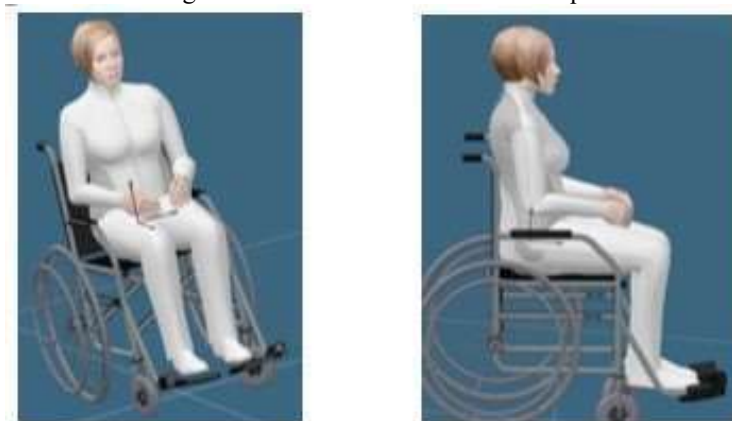
Figura 19 - Dimensiones de los maniqués



Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se realizó el análisis con la posición del maniquí femenino (Figura 20) en el equipo.

Figura 20 - Posicionamiento del maniquí

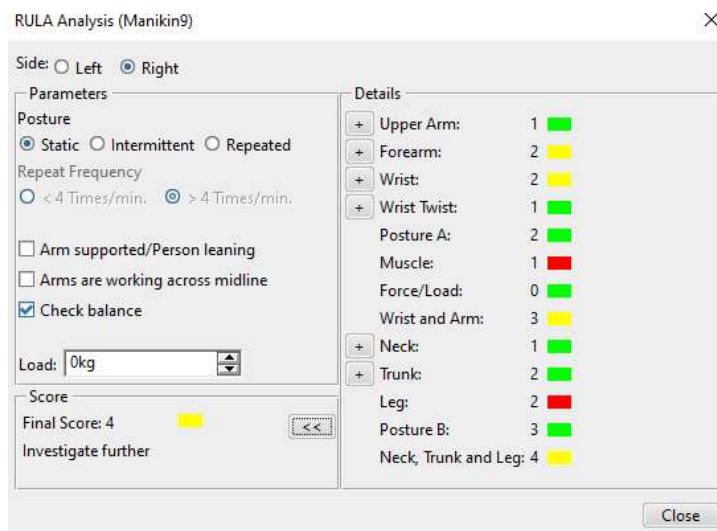


Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que, como consecuencia de su altura, el maniquí es incapaz de distribuir correctamente sus patas y pies, ya que no alcanza los soportes destinados a los pies. Al analizar la posición de los brazos, la distancia entre los reposabrazos de la silla de ruedas y la distribución ideal de los brazos es clara, lo que también conduce a pérdidas ergonómicas de

postura del maniquí. Los resultados obtenidos al aplicar la metodología RULA al maniquí se muestran en la Figura 21.

Figura 21 - Resultado - Metodología RULA para la silla convencional



Fuente: Elaboración propia

El análisis se realiza bajo la condición de que el maniquí esté estático en posición. Las indicaciones que demuestran el color verde explican que la posición de la parte superior del brazo, la torsión de la muñeca, el cuello y el tronco. Los tres miembros analizados por separado se encuentran en un nivel ergonómicamente aceptable según la metodología RULA. Los índices amarillos, aparentes en el antebrazo y la muñeca por separado, adjuntos de todo el brazo combinado con la muñeca, demuestran que, debido a la falta de un correcto apoyo del maniquí, resultó en puntuaciones de 2 y 3, respectivamente. Por último, el análisis combinado de las patas, el tronco y el cuello anuncia la escasa adaptabilidad de la silla al cuerpo del maniquí femenino, lo que se traduce en esfuerzos innecesarios y lleva al resultado de todo el análisis a un nivel 4, donde la metodología RULA de que "pueden ser necesarios cambios".

A continuación, se analizó la silla de ruedas con el maniquí masculino, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22 - Posicionamiento del maniquí

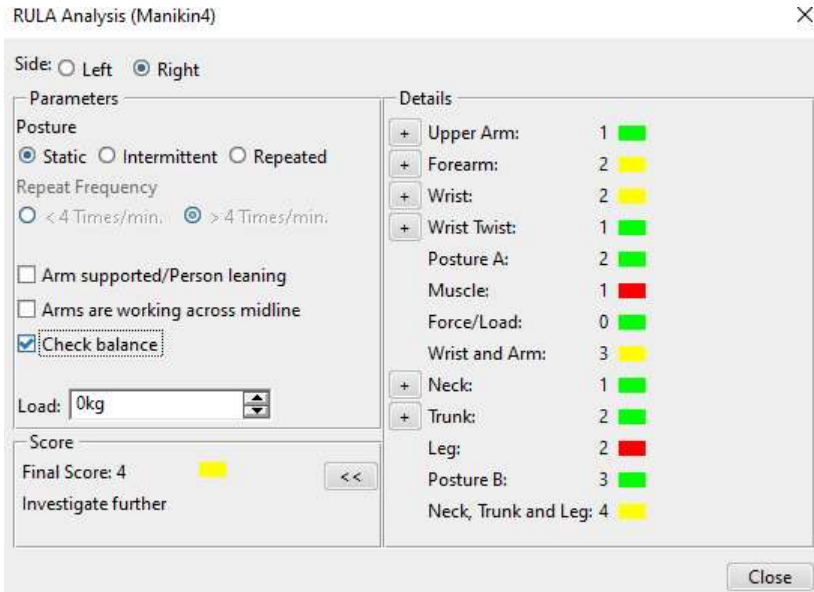


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que, debido a su altura, el maniquí también se ve impedido de acomodar los codos y toda la extensión del brazo (debido a la falta de ajuste en la altura de los reposabrazos para diferentes tipos de usuarios). Sus piernas se acomodan en el soporte para los pies, pero solo con un cierto ángulo de las piernas, con la consecuencia postural de la asignación no óptima de las piernas. Ideal para el soporte de glúteos y la longitud de las

piernas. Los resultados obtenidos al aplicar la metodología RULA al maniquí se muestran en la Figura 23.

Figura 23 - Resultado - Metodología RULA para la silla convencional



Fuente: Elaboración propia

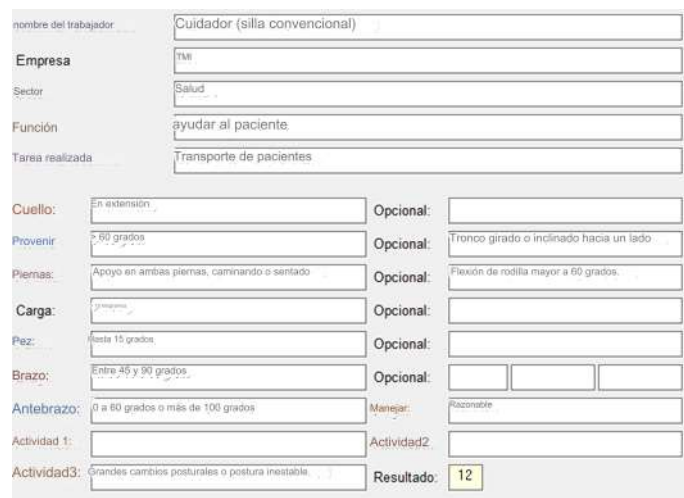
Los resultados son muy cercanos a los encontrados por el maniquí de diferente estatura y sexo, y además se clasifican por la metodología RULA como grado 4, que tiene como consecuente intervención la realización de observaciones y la posibilidad de cambios.

**RETIRADA DEL PACIENTE POR PARTE DEL CUIDADOR**

Con el fin de mejorar la ergonomía en el proceso de traslado del paciente por parte de su respectivo cuidador, se sugirió retirar el reposabrazos. Para verificar la efectividad de la acción, se aplicó la metodología REBA, utilizando el software *ergolandia*, indicando los resultados de la Figura 24 y la Figura 25.

1 - Diagnóstico del cuidador en silla de ruedas convencional:

Figura 24 - REBA: Resultado para la silla de ruedas con el reposabrazos



Fuente: Elaboración propia

2 - Diagnóstico del cuidador en silla de ruedas basculante con reposabrazos extraíble:

Figura 25 - Resultado - Metodología REBA: Resultado sin reposabrazos

nombre del trabajador	Cuidador (silla de ruedas inclinable)		
Empresa	TM		
Sector	Salud		
Función	ayudar al paciente		
Tarea realizada	Transporte de pacientes		
Cuello:	0 a 20 grados	Opcional:	
Provenir:	0 a 20 grados	Opcional:	Tronco girado o inclinado hacia un lado
Piernas:	Apoyo en ambas piernas, caminando o sentado	Opcional:	Flexión de rodilla de 30 a 60 grados.
Carga:		Opcional:	
Pez:	Hasta 15 grados	Opcional:	
Brazo:	Entre 20 y 45 grados	Opcional:	
Antebrazo:	0 a 60 grados o más de 100 grados	Manejar:	Bien
Actividad1:	Una o más partes del cuerpo mantenidas más de 1 min.	Actividad2:	
Actividad3:		Resultado:	7

Fuente: Elaboración propia, 2019

A partir del análisis de la metodología REBA, es posible observar una mejora significativa en el proceso tras la retirada del reposabrazos. Inicialmente, el resultado indicó una puntuación de 12, lo que resultó en una intervención inmediata y de muy alto riesgo. Después de la propuesta de retirar el reposabrazos, el proceso pasó a ser de riesgo medio, requiriendo aún intervención, pero con menor intensidad.

### DESARROLLO DE PRODUCTOS

En vista del beneficio ergonómico resultante de la eliminación del reposabrazos y las mejoras en la accesibilidad y funcionalidad mapeadas en el cuestionario, se desarrolló un nuevo producto en el software *SolidWorks*, con el objetivo de cumplir con todas las sugerencias propuestas y tener un sistema de inclinación que defina las posiciones ergonómica y fisiológicamente ideales. utilizando el sistema de *respaldo y inclinación del asiento para su viabilidad*.

El sistema diseñado tiene la dinámica sistemática de cambiar la orientación de alguien sentado en una silla de ruedas, pero manteniendo los ángulos de cadera, rodilla y tobillo iguales. El objetivo principal del sistema es redistribuir las presiones o cargas en el cuerpo, particularmente en las tuberosidades isquiáticas y el coxis o los huesos pélvicos distales/caudales sobre los que se sientan los usuarios de sillas de ruedas, reduciendo así problemas como úlceras por presión, trombosis y otros problemas de circulación.

Algunos de los otros beneficios que proporciona el sistema son: Aumentar el flujo sanguíneo o regular la presión arterial, mejorar la alimentación, controlar la cabeza y el tronco, mejorar la respiración, posicionarse correctamente para la función o facilitar la transferencia, ajustar el campo de visión, ayudar con el sueño y el descanso, minimizar el tono muscular.

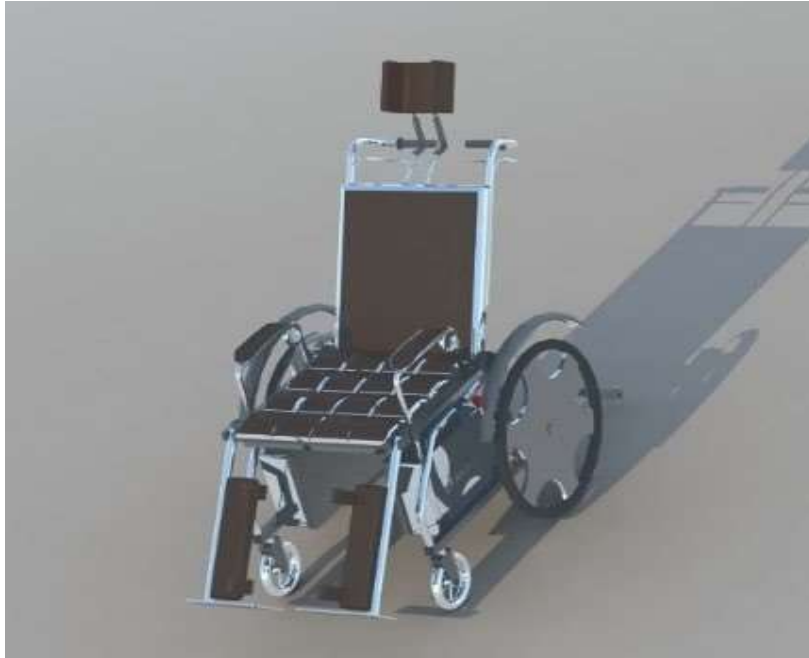
La silla de ruedas desarrollada tiene como objetivo, además de proponer un sistema de inclinaciones ideales del asiento y el respaldo, satisfacer las necesidades del paciente de acuerdo con su condición clínica, y por lo tanto el individuo tiene la posibilidad de elegir los accesorios que se acoplarán al equipo. Para ello, el producto fue diseñado siguiendo el concepto de intercambiabilidad de piezas, donde se desarrollaron acoplamientos rápidos intercambiables para que los accesorios queden correctamente acoplados.

Al ser un proyecto de producto apto para la Ingeniería de Producción, desarrollamos a partir de uno de los principios de la Industria 4.0, la modularidad. Para satisfacer la máxima demanda de los usuarios de sillas de ruedas, la silla se dividió primero en dos grandes

bloques: Bloque individual (silla de ruedas con sistema basculante) y el bloque de accesorios. Posteriormente, añadiendo modularidad, el proyecto se dividió en 3 módulos (Soporte, Salud y Accesibilidad y Movilidad).

La figura 26 muestra la silla con el módulo "Soportes"

Figura 26 - Modelo de silla



Fuente: Elaboración propia

El módulo de soporte se fragmentó de acuerdo a los miembros inferiores y superiores de la siguiente manera:

- Reposabrazos (Figuras 27 y 28)
- Soporte para las piernas (Figura 29 y Figura 30)
- Reposapiés (Figura 31 y Figura 32)
- Reposacabezas (Figura 33, Figura 34 y Figura 35)

Figura 27 – Reposabrazos con cinturón



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 - Reposabrazos



Fuente: (ORTO PONTO, [s.f.])

Figura 29 - Soporte para las piernas con cinturón



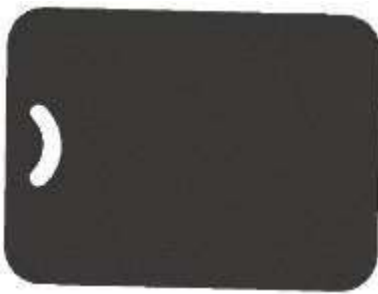
Fuente: Elaboración propia

Figura 30 – Soporte para piernas y pies



Fuente: (SOS MATERIAIS HOSPITALARES, [s.d.])

Figura 31 – Reposapiés



Fuente: Elaboración propia

Figura 32 - Reposapiés



Fuente: (SOS MATERIAIS HOSPITALARES, [s.d.])

Figura 33 – Reposacabezas 1



Fuente: (IMPORTS BABY, [s.f.])

Figura 34 - Reposacabezas 2



Fuente: (MEDICAL EXPO, [s.f.])

Figura 35 - Reposacabezas 3



Fuente: Elaboración propia



La figura 36 muestra la silla con el módulo "Salud".

Figura 36 - Silla de ruedas: salud



Fuente: Elaboración propia

El módulo de salud incluye 3 accesorios (Figura 37, Figura 38 y Figura 39):

Figura 37 -  
Suero/Medicación/Soport  
e sanguíneo



Fuente: Elaboración propia

Figura 38 - Soporte del  
tanque de oxígeno



Fuente: Elaboración  
propia

Figura 39 - Cinturón de seguridad



Fuente: (MEDICAL EXPO, [s.f.])

En la figura 40 se muestra la silla con el módulo "Accesibilidad y Movilidad".

Figura 40 - Silla completa: Accesibilidad y movilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 41 - Paragüero



Fuente: Elaboración propia

Figura 42 - Ruedas



Fuente: Elaboración propia

Figura 43 - Portavasos



Fuente: Elaboración propia

Figura 44 - Mesa multiusos



Fuente: Elaboración propia

Figura 45 - Rueda delantera



Fuente: Elaboración propia

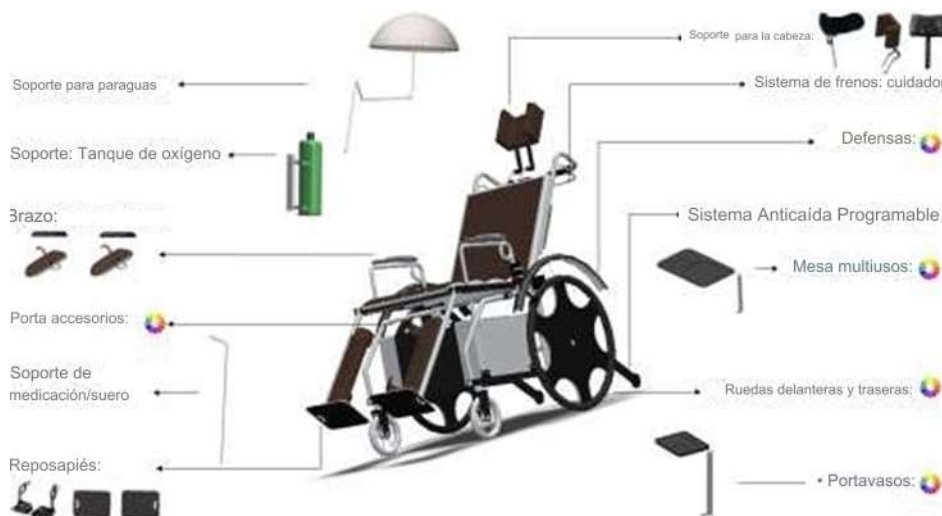
Figura 46 - Soporte para accesorios



Fuente: Elaboración propia

Los accesorios de soporte se desarrollaron siguiendo el concepto de diseño plegable. Según Jackson (2011), el concepto *de plegado* se refiere al uso de técnicas de plegado en equipos, con el objetivo de crear nuevos productos que satisfagan las necesidades de producción, transporte, almacenamiento y uso flexible. Por lo tanto, los accesorios como portavasos, paragüeros, mesas multiusos, portavasos y adaptadores de tanque de oxígeno se pueden plegar para facilitar el almacenamiento en el soporte de accesorios, ubicado dentro de la silla de ruedas, que se puede ver (con todos sus componentes y accesorios) en la Figura 47.

Figura 47 - Silla de ruedas proyectada.



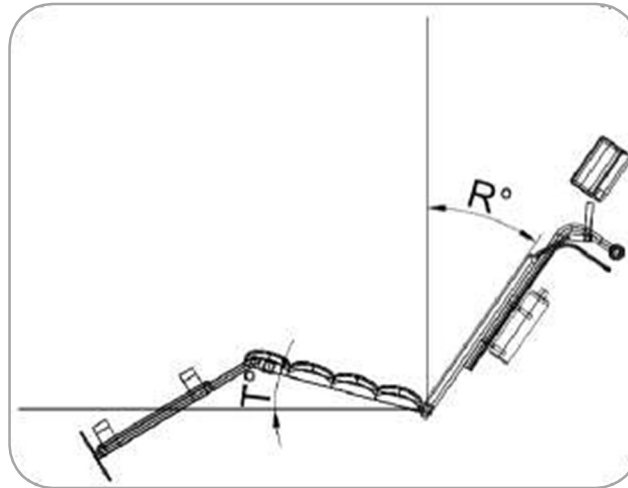
Fuente: Elaboración propia

### ANÁLISIS ERGONÓMICO Y FISIOLÓGICO DE LA SILLA DE RUEDAS DISEÑADA

Según un estudio publicado por el Instituto de Biomecánica de Zúrich (ZEMP et al., 2019), las sillas de ruedas que incorporan funciones de inclinación del asiento y el respaldo,

denominada como "tilt n space" se prescriben rutinariamente para redistribuir la presión arterial y mejorar los problemas de circulación. En el estudio, cinco ángulos diferentes de inclinación del asiento ( $5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35^\circ$  y  $45^\circ$ ), descritos como *ángulo T*, se evaluaron en combinación con tres ángulos diferentes de reclinación del respaldo ( $5^\circ$ ,  $15^\circ$  y  $30^\circ$ ), descritos como *ángulo R*. El contorno de las laderas se puede ver en la Figura 48.

Figura 48 - Inclinaciones del respaldo y del asiento.

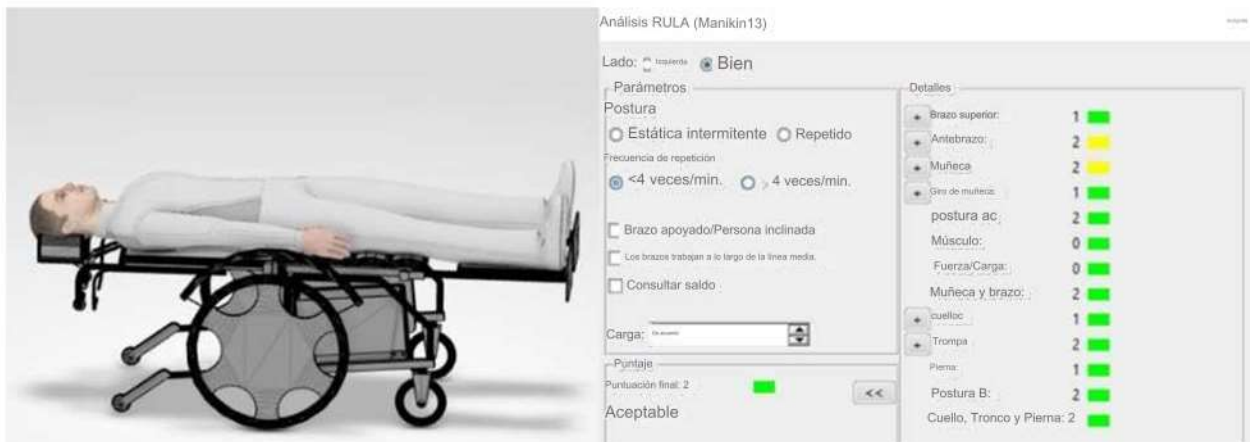


Fuente: Elaboración propia

Aunque el beneficio fisiológico es evidente para la combinación angular propuesta, no se evaluó el comportamiento ergonómico del sistema. Por lo tanto, además de la posición sentada y acostada, se evaluó la combinación de cinco ángulos diferentes de estas inclinaciones del asiento ( $5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $35^\circ$  y  $45^\circ$ ) en combinación con tres ángulos diferentes de reclinación del respaldo ( $5^\circ$ ,  $15^\circ$  y  $30^\circ$ ), con el objetivo de verificar si existe una mejora ergonómica en el producto diseñado. La herramienta utilizada para el análisis fue el software Ergonomics, presente en el entorno de Dassault Systèmes, 3DEXPERIENCE.

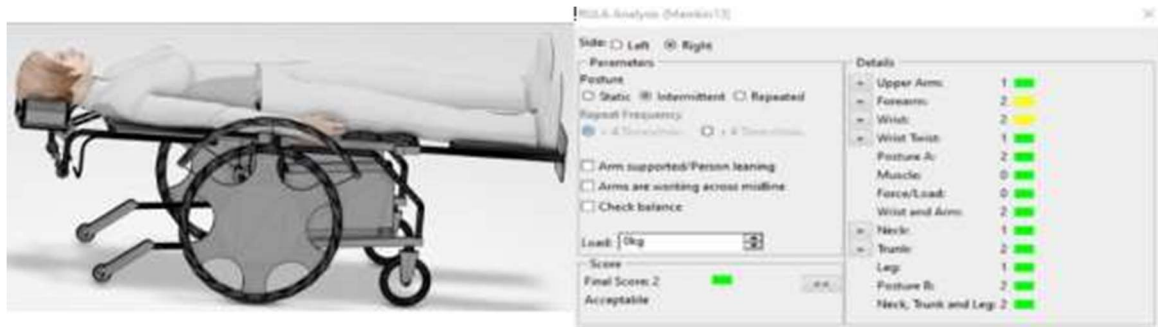
Para que la comparación y validación de la hipótesis fuera efectiva, se evaluaron los mismos maniqués utilizados en el análisis de la silla de ruedas convencional, como se evidencia en las imágenes a continuación. Se aplicó la metodología RULA y los resultados obtenidos se encuentran junto a cada una de las posiciones sugeridas, como se muestra en la Figura 49 a la Figura 80.

Figura 49 - Silla en posición  $0^\circ T$  y  $90^\circ R$



Fuente: Elaboración propia

Figura 50 - Silla en posición 0° T y 90° R



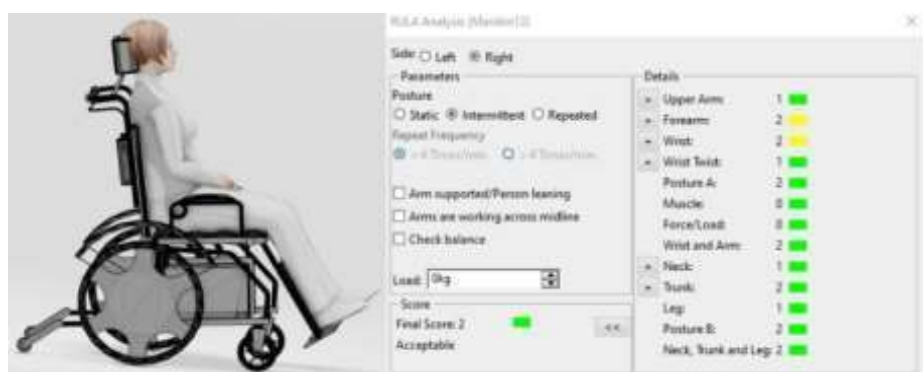
Fuente: Elaboración propia

Figura 51 - Silla en posición 5° T y 10° R



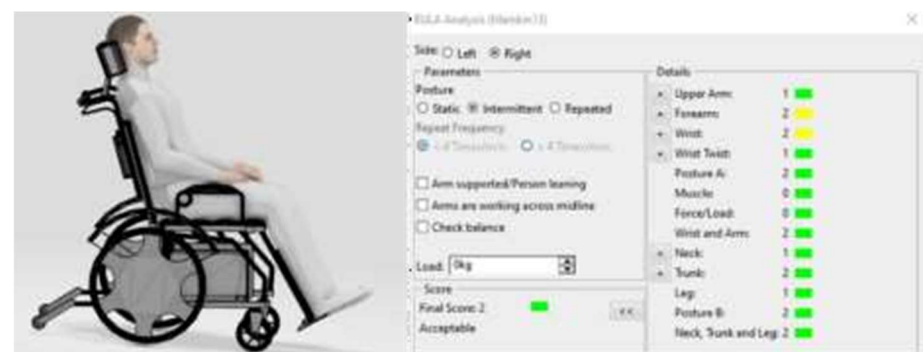
Fuente: Elaboración propia

Figura 52 - Silla en posición 5° T y 10° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 53- Silla en posición 5° T y 20° R



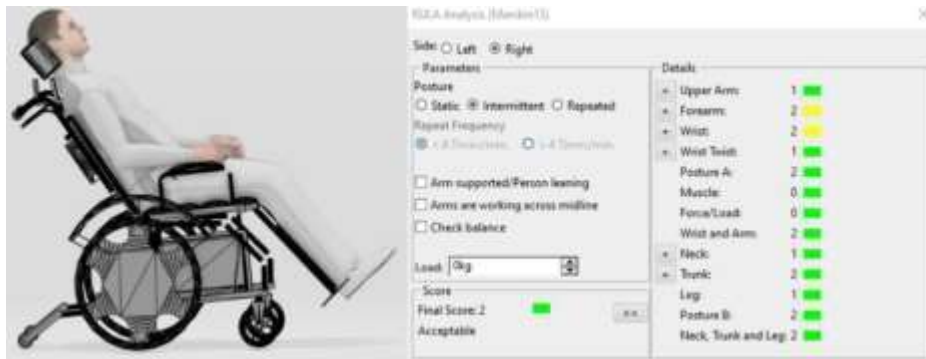
Fuente: Elaboración propia

Figura 54 - Silla en posición 5° T y 20° R



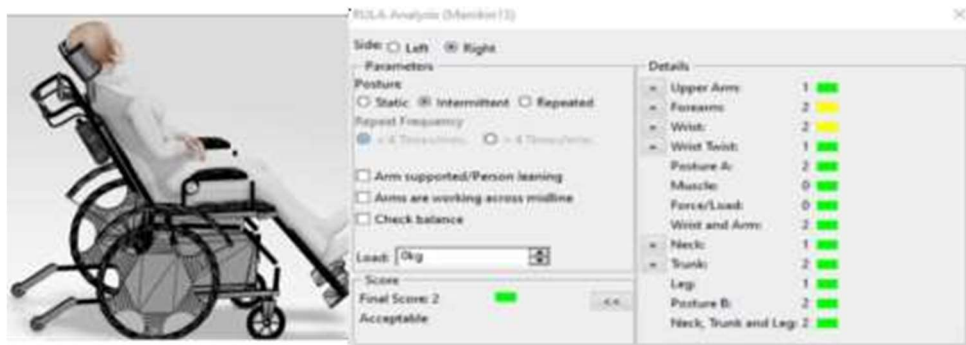
Fuente: Elaboración propia

Figura 55 - Silla en posición 5° T y 30° R



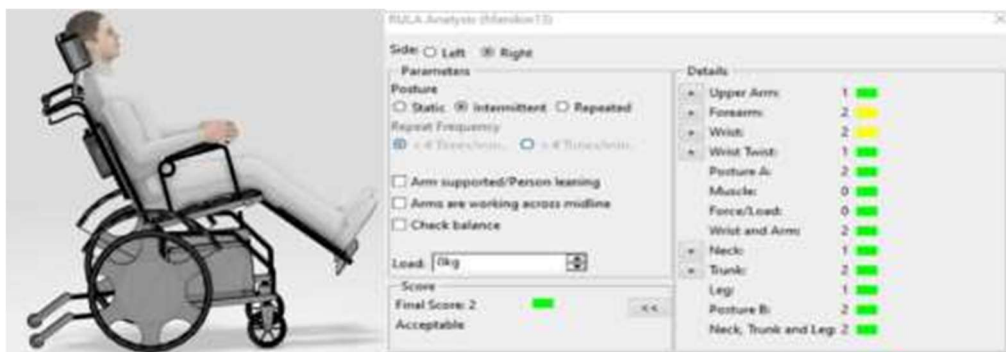
Fuente: Elaboración propia

Figura 56 - Silla en posición 5° T y 30° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 57 - Silla en posición 15° T y 20° R



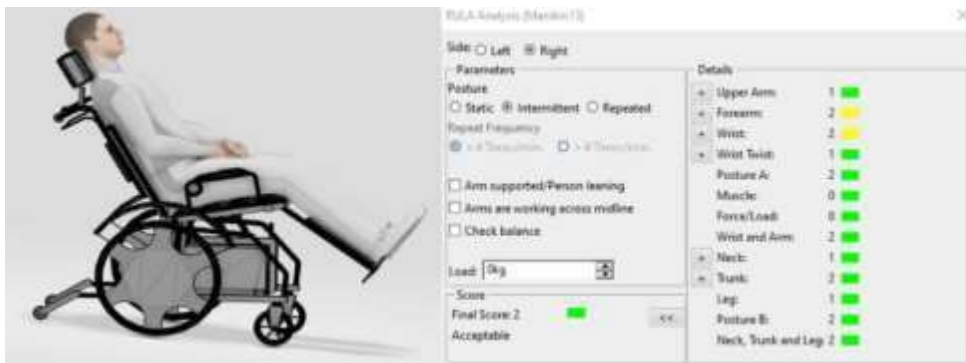
Fuente: Elaboración propia

Figura 58 - Silla en posición 15° T y 20° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 59 - Silla en posición 15° T y 30° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 60 - Silla en posición 15° T y 30° R



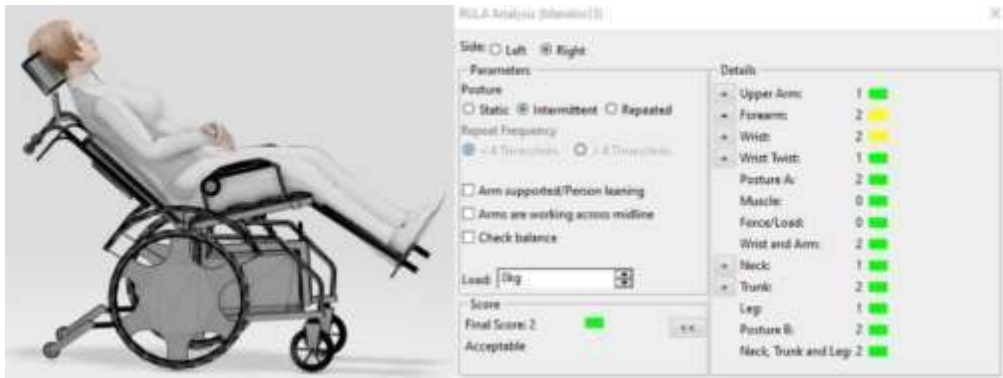
Fuente: Elaboración propia

Figura 61 - Silla en posición 15° T y 45° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 62 - Silla en posición 15° T y 45° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 63 - Silla en posición 25° T y 30° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 64 - Silla en posición 25° T y 30° R



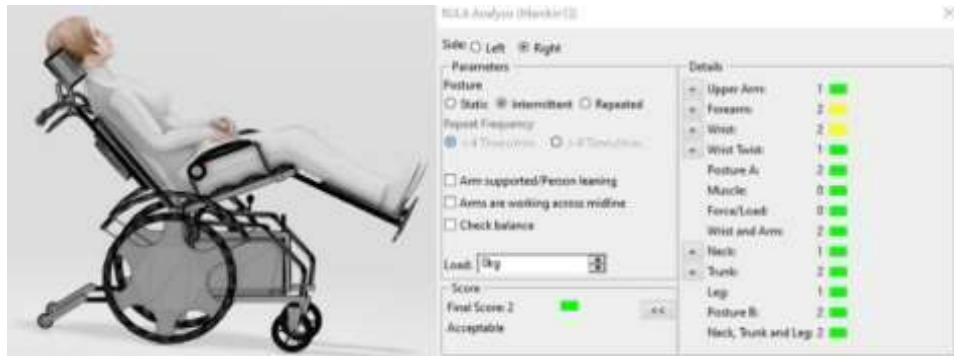
Fuente: Elaboración propia

Figura 65 - Silla en posición 25° T y 40° R



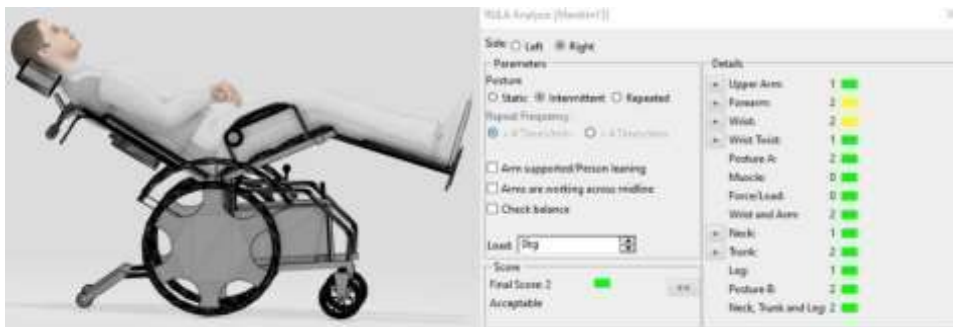
Fuente: Elaboración propia

Figura 66 - Silla en posición 25° T y 40° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 67 - Silla en posición 25° T y 55° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 68 - Silla en posición 25° T y 55° R



Fuente: Elaboración propia

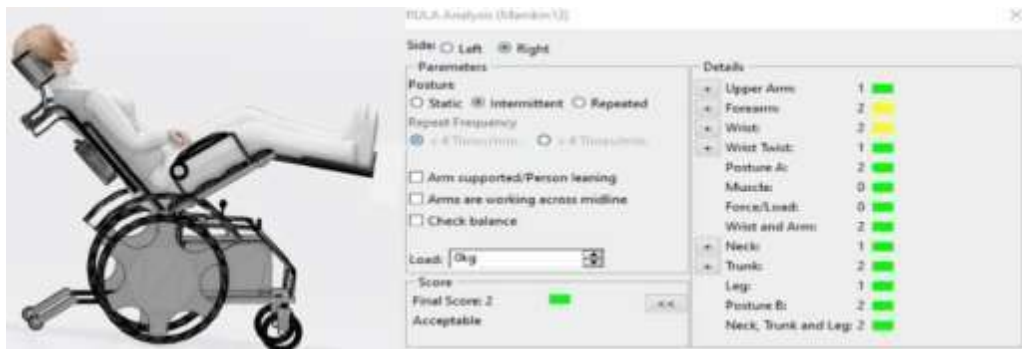
Figura 69 - Silla en posición 35° T y 40° R



Fuente: Elaboración propia

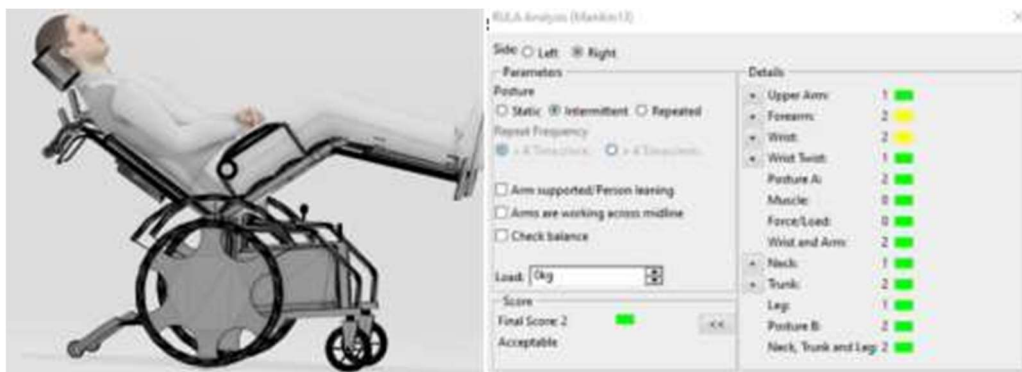


Figura 70 - Silla en posición 35° T y 40° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 71 - Silla en posición 35° T y 50° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 72 - Silla en posición 35° T y 50° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 73 - Silla en posición 35° T y 65° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 74 - Silla en posición 35° T y 65° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 75 - Silla en posición 45° T y 50° R



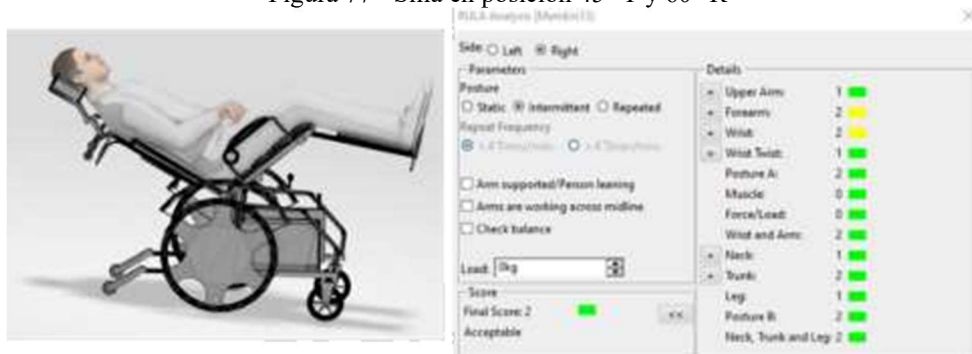
Fuente: Elaboración propia

Figura 76 - Silla en posición 45° T y 50° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 77 - Silla en posición 45° T y 60° R



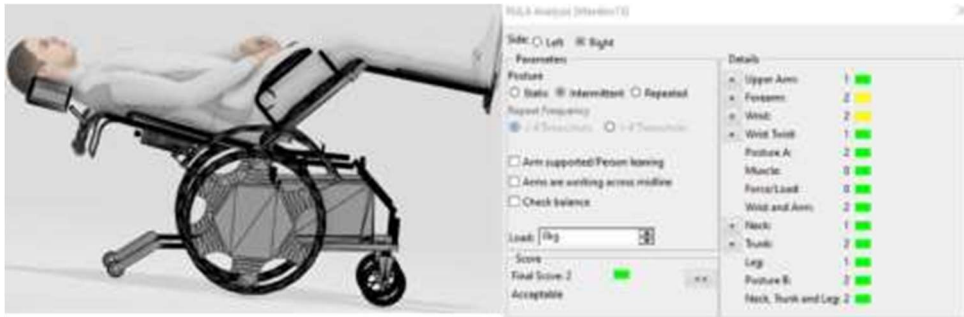
Fuente: Elaboración propia

Figura 78 - Silla en posición 45° T y 60° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 79 - Silla en posición 45° T y 75° R



Fuente: Elaboración propia

Figura 80 - Silla en posición 45° T y 75° R

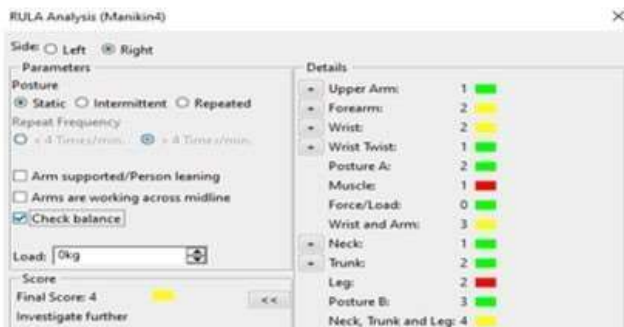


Fuente: Elaboración propia

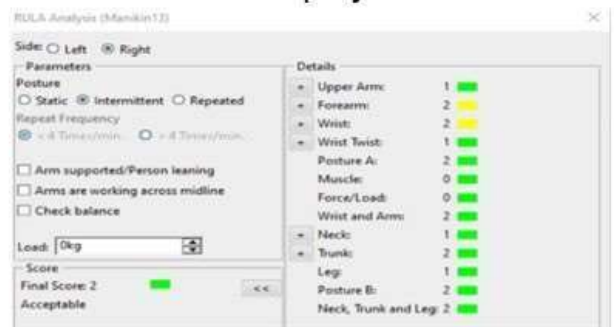
A partir del análisis ergonómico, se puede observar que, para todas las combinaciones sugeridas de ángulos de asiento y respaldo, así como para la posición sentada y acostada, hubo un beneficio ergonómico ya que, a través de la metodología RULA, el nivel de intervención se clasificó como grado 2, el cual fue descrito como "Postura Aceptable".

La figura 81 muestra la comparación entre la silla de ruedas convencional y la silla de ruedas diseñada. Figura 81 - Comparación de resultados: Silla convencional vs. silla proyectada

Cadeira convencional



Cadeira projetada



Fuente: Elaboración propia

La mayor diferencia se produce en la actividad muscular ya que, debido a la intermitencia en la actividad, el impacto sobre los músculos del cuerpo es menor, ya que son posibles cambios en las inclinaciones a lo largo del día y, como consecuencia, la puntuación pasa de 1 en la silla convencional a 0 en la silla de ruedas proyectada.

La posición de las piernas también obtuvo una ganancia significativa. La metodología RULA clasifica la ausencia de apoyo para las piernas como puntuación 2 y la presencia de apoyo y la posibilidad de ajustar el apoyo de las piernas y los pies según el tamaño del paciente como puntuación 1.

Así, el beneficio ergonómico se evidenció al cambiar el grado de riesgo postural de grado 4 (Pueden ser necesarios cambios) a grado 2 (Postura aceptable).

#### 4. CONCLUSIONES

Considerando que el objetivo del trabajo fue proponer una intervención y realizar un análisis ergonómico en una silla de ruedas con sistema de inclinación, se puede concluir que, según la metodología RULA, la silla de ruedas convencional presenta problemas ergonómicos que pueden resultar en trastornos, especialmente en la región de los brazos y piernas, además de dificultades musculares resultantes de la excesiva permanencia en la posición sentada.

Además, el proceso de traslado del paciente por parte del cuidador presenta un alto riesgo. Como primera solución, se analizó el impacto de hacer desmontables los reposabrazos de la silla, con el objetivo de ayudar a la retirada del paciente por parte del cuidador. La aplicación de la metodología REBA mostró un beneficio ergonómico, ya que la clasificación de riesgo después de hacer el reposabrazos removible se cambió de "Riesgo Muy Alto" a "Riesgo Medio".

Después de verificar el aumento de la discapacidad en Brasil y la inmersión e ideación realizadas después de las entrevistas con el público objetivo, se desarrolló un producto que satisface las necesidades de los usuarios de sillas de ruedas y sus respectivos cuidadores.

El análisis de la silla de ruedas proyectada muestra beneficios fisiológicos, considerando que, cuando se compara con la postura de referencia en posición erguida (sentado), todas las posiciones, excepto 15° de respaldo / 5° de reclinación, resultan en una disminución significativa de la presión y una mejora de la circulación, reduciendo los problemas de salud derivados de la permanencia en la posición sentada.

En cuanto a la ergonomía, la comparación de todas las combinaciones angulares sugeridas, así como la postura de referencia (sentado) y acostado, mostró, según la metodología RULA, un cambio en el grado de intervención de "Pueden ser necesarios cambios" a "Postura aceptable", evidenciando el beneficio ergonómico de la silla de ruedas diseñada.

#### REFERENCIAS

- ABRAHÃO, J. et al. *Introdução à Ergonomia: da Prática à Teoria*. [s.l.] Blucher, 2009.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 17, de 08 de junho, 1978. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR17.pdf>>.  
Acesso em: 17 nov. 2017
- COUTO, H. D. A. *ERGONOMIA APLICADA AO TRABALHO : O MANUAL TÉCNICO DA MÁQUINA HUMANA*. Belo Horizonte: ERGO, 1996.
- IBGE. Censo Demográfico. Disponível em:  
<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

IBGE EDUCA. Pessoas com deficiência. Disponível em:

<<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2. ed. São Paulo: 1980, 2005.

IIDA, I.; BUARQUE, L. Ergonomia: Projetos e Produção. São Pauo: Blucher, 2016.

IMPORTS BABY. Karman Universal dobrável apoio para a cabeça para cadeira de rodas Tam Grande. Disponível em: <<https://importsbaby.com/produto/Karman-Universal-dobr%E1vel-apoio-para-a-cabe%E7a-para-cadeira-de-rodas-Tam-Grande.html>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

JACKSON, P. Folding techniques for designers: from sheet to form. [s.l.] Laurence King, 2011.

MEDICAL EXPO. Apoio de cabeça - JCM Seating - para cadeira de rodas. Disponível em: <<https://www.medicalexpo.com/pt/prod/jcm-seating/product-84401-639043.html>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ORTO PONTO. Espuma do apoio de braço SY para cadeiras Ortobras - Ortoponto. Disponível em: <<https://www.ortoponto.com.br/produto/espuma-do-apoio-de-braco-sy-para-cadeiras-ortobras-1543>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

SOS MATERIAIS HOSPITALARES. Apoio completo de panturrilha. Disponível em: <<http://www.sosmateriaishospitalares.com.br/2018/02/apoio-completo-de-panturrilha.html>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ZEMP, R. et al. Wheelchair Tilt-in-Space and Recline Functions: Influence on Sitting Interface Pressure and Ischial Blood Flow in an Elderly Population. *BioMed Research International*, v. 2019, 2019.